

42

Director del capítulo
Jean-Jacques Vogt

Sumario

Respuestas fisiológicas a la temperatura ambiente <i>W. Larry Kenney</i>	42.2
Efectos del estrés por calor y trabajo en ambientes calurosos <i>Bodil Nielsen</i>	42.5
Trastornos producidos por el calor <i>Tokuo Ogawa</i>	42.8
Prevención del estrés por calor <i>Sarah A. Nunneley</i>	42.11
Fundamentos físicos del trabajo en condiciones de calor <i>Jacques Malchaire</i>	42.15
Evaluación del estrés por calor e índices de estrés por calor <i>Kenneth C. Parsons</i>	42.17
Intercambio de calor a través de la ropa <i>Wouter A. Lotens</i>	42.26
Ambientes fríos y trabajo con frío <i>Ingvar Holmér, Per-Ola Granberg y Goran Dahlstrom</i>	42.32
Prevención del estrés por frío en condiciones extremas al aire libre <i>Jacques Bittel y Gustave Savourey</i>	42.50
Índices de frío y normas sobre el frío <i>Ingvar Holmér</i>	42.53

● RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LA TEMPERATURA AMBIENTE

W. Larry Kenney

Durante toda su vida, los seres humanos mantienen la temperatura corporal dentro de unos límites de variación muy estrechos y protegidos a toda costa. Los límites máximos de tolerancia para las células vivas corresponden a unos 0 °C (formación de cristales de hielo) y unos 45 °C (coagulación térmica de proteínas intracelulares); sin embargo, los seres humanos pueden soportar temperaturas internas inferiores a 35 °C o superiores a 41 °C, aunque sólo durante períodos muy cortos de tiempo. Para mantener la temperatura interna dentro de esos límites, el ser humano ha desarrollado unas respuestas fisiológicas muy eficaces, y en algunos casos especializadas, al estrés térmico agudo. La finalidad de esas respuestas es facilitar la conservación, producción o eliminación del calor corporal, requieren la coordinación firmemente controlada de varios sistemas corporales.

Equilibrio térmico del ser humano

La principal fuente de calor para el organismo es, con diferencia, la producción de calor metabólico (M). Incluso con una eficiencia mecánica máxima, entre el 75 y el 80 % de la energía implicada en el trabajo muscular se libera en forma de calor. En reposo, una tasa metabólica de 300 ml de O_2 por minuto crea una carga térmica de aproximadamente 100 W. El trabajo en estado estable con un consumo de oxígeno de 1 l/min genera aproximadamente 350 W de calor, menos cualquier energía asociada al trabajo externo (W). Incluso con una intensidad de trabajo leve o moderada, la temperatura interna del organismo aumentará aproximadamente un grado centígrado cada 15 min si no existe un medio eficaz de disipar el calor. De hecho, las personas que están en muy buena forma física pueden producir más de 1.200 W de calor durante un período de 1 a 3 horas sin sufrir trastornos por calor (Gisolfi y Wenger 1984).

El calor puede también absorberse del medio ambiente por radiación (R) y convección (C) si la temperatura de globo (una medida del calor radiante) y la temperatura del aire (bulbo seco) sobrepasan respectivamente la temperatura cutánea. Se trata de fuentes de calor pequeñas por lo común en comparación con M y, en realidad, se convierten en fuentes de pérdida de calor cuando se invierte el gradiente térmico de la piel al aire. El último proceso de termólisis, el de evaporación (E), suele ser también el más importante, puesto que el calor latente de la evaporación del sudor es bastante elevado, aproximadamente 680 W-h/l de sudor evaporado. Todas estas relaciones se describen en profundidad más adelante.

En ambientes fríos o térmicamente neutros, la termogénesis se equilibra con la termólisis, no se almacena calor y la temperatura corporal se equilibra; es decir:

$$M - W \pm R \pm C - E = 0$$

Ahora bien, cuando la exposición al calor es más intensa:

$$M - W \pm R \pm C > E$$

y se almacena calor. En particular, los trabajos pesados (con un elevado gasto de energía que aumenta $M - W$), unas temperaturas ambientales demasiado altas (que aumentan $R + C$), una elevada humedad (que limita E) y el uso de prendas de vestir gruesas o relativamente impermeables (que crean una barrera para la evaporación del sudor), dan lugar a este tipo de escenario. Finalmente, si el esfuerzo es prolongado o la hidratación

inadecuada, E puede verse superado por la capacidad limitada del organismo para secretar sudor (entre 1 y 2 l/h durante cortos períodos de tiempo).

La temperatura corporal y su control

Para describir las respuestas fisiológicas al frío y al calor, el organismo puede dividirse en dos componentes: el "núcleo" y la "periferia". La temperatura del núcleo (T_c) representa la temperatura corporal interna o profunda y puede medirse en la boca, en el recto o, en contextos de laboratorio, en el esófago o la membrana timpánica (tímpano). La temperatura de la periferia está representada por la temperatura cutánea media (T_{sk}). La temperatura corporal media (T_b) es en todo momento un equilibrio ponderado de estas temperaturas, es decir

$$T_b = k T_c + (1 - k) T_{sk}$$

en donde el factor de ponderación k varía entre aproximadamente 0,67 y 0,90.

Cuando el organismo se enfrenta a condiciones que se alejan de la neutralidad térmica (estrés por frío o calor), intenta controlar T_c mediante ajustes fisiológicos, y T_c constituye la principal fuente de retroinformación para que el cerebro coordine dicho control. Aunque la temperatura cutánea local y media es una importante fuente de información sensorial, T_{sk} varía mucho con la temperatura ambiente, con un valor medio de 33 °C en condiciones de termoneutralidad y alcanzando 36 o 37 °C en condiciones de trabajo pesado en ambientes calurosos. La exposición de todo el organismo o de una parte del mismo al frío puede hacer que esta temperatura descienda considerablemente. La sensibilidad táctil aparece entre los 15 y los 20 °C, mientras que la temperatura crítica para la destreza manual se sitúa entre los 12 y los 16 °C. Los umbrales superior e inferior del dolor para los valores de T_{sk} son aproximadamente de 43 °C y 10 °C, respectivamente.

Los estudios de mapeo de alta precisión han localizado el lugar de mayor regulación térmica en la zona del cerebro conocida como centros supra y preópticos del hipotálamo anterior. En esta región existen células nerviosas que responden tanto al calentamiento (neuronas sensibles al calor) como al enfriamiento (neuronas sensibles al frío). Es una zona que domina el control de la temperatura corporal al recibir información sensorial aferente y enviar señales a la piel, los músculos y otros órganos implicados en la regulación térmica a través del sistema nervioso autónomo. Otras zonas del sistema nervioso central (hipotálamo posterior, formación reticular, puente, bulbo raquídeo y médula espinal) forman las conexiones ascendentes y descendentes con los centros supra y preópticos del hipotálamo anterior y realizan una serie de funciones facilitadoras.

El sistema de control del organismo es similar al control termostático de una vivienda con funciones tanto de calefacción como de refrigeración. Cuando la temperatura corporal sobrepasa una cierta temperatura teórica "de referencia", se activan las respuestas de los efectores asociadas a la termólisis (sudoración, aumento del flujo sanguíneo periférico). Cuando la temperatura corporal desciende por debajo del valor de referencia, se inician las respuestas de termogénesis (reducción del flujo sanguíneo periférico, escalofríos). Pero, al contrario que los sistemas de calefacción y refrigeración de las viviendas, el sistema de regulación térmica del ser humano no funciona como un sencillo sistema de encendido y apagado, sino que tiene también funciones de control gradual y control de la velocidad del cambio. Debe tenerse en cuenta que la "temperatura de referencia" existe sólo en teoría, pero es útil para comprender estos conceptos. No obstante, todavía queda mucho trabajo para comprender plenamente los mecanismos asociados a la temperatura termorreguladora de referencia.

Cualquiera que sea su base, la temperatura de referencia es relativamente estable y no se ve afectada por el trabajo ni por la temperatura ambiente. De hecho, el único caso demostrado de alteración aguda de dicha temperatura es la provocada por el grupo de pirógenos endógenos implicados en la respuesta febril. Las respuestas de los efectores que el organismo utiliza para mantener el equilibrio térmico se inician y controlan en respuesta a un "error de carga", es decir, a una temperatura corporal que está momentáneamente por encima o por debajo de la temperatura de referencia (Figura 42.1). Cuando la temperatura interna desciende por debajo del valor de referencia, se crea un error de carga negativo que desencadena los procesos de termogénesis (escalofríos, vasoconstricción periférica). Cuando la temperatura interna sobrepasa el valor de referencia, se crea un error de carga positivo que activa a los efectores de la termolisis (vasodilatación periférica, sudoración). En ambos casos, la transferencia de calor resultante reduce el error de carga y ayuda a estabilizar la temperatura corporal.

Regulación térmica en ambientes calurosos

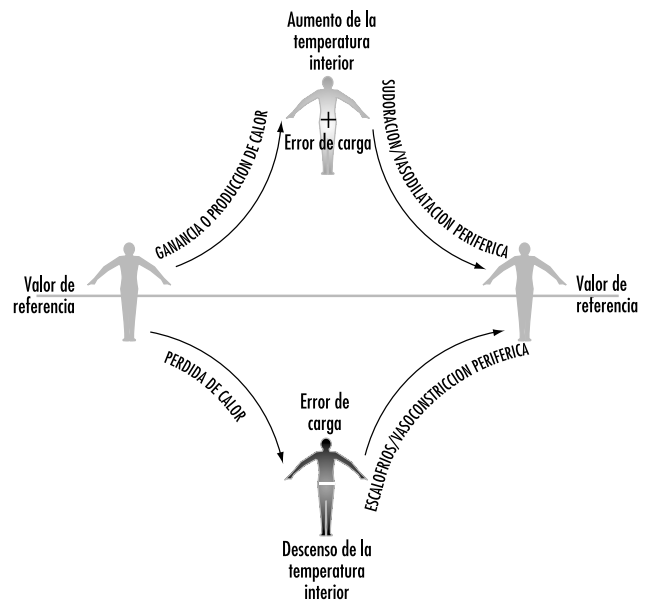
Como ya se ha dicho antes, el ser humano desprende calor al medio ambiente principalmente mediante una combinación de procesos secos (radiación y convección) y evaporación. Para facilitar este intercambio, se activan y regulan los dos principales sistemas efectores: vasodilatación periférica y sudoración. Aunque la vasodilatación periférica suele producir pequeños aumentos en la pérdida de calor seco (radiativo y convectivo), su principal función es transferir calor del interior del cuerpo a la periferia (transferencia interna de calor), mientras que la evaporación de sudor constituye un medio extremadamente eficaz para enfriar la sangre antes de que regrese a los tejidos corporales profundos (transferencia externa de calor).

Vasodilatación periférica

La cantidad de calor transferido del núcleo a la periferia depende del flujo sanguíneo periférico (FSP), el gradiente de temperatura entre el centro y la periferia y el calor específico de la sangre (algo inferior a 4 kJ/°C por litro de sangre). En reposo y en un ambiente térmicamente neutro, la piel recibe aproximadamente entre 200 y 500 ml/min de flujo sanguíneo, lo que representa sólo entre un 5 y un 10 % de la sangre total bombeada por el corazón (gasto cardíaco). Debido a la existencia de un gradiente de 4 °C entre T_c (unos 37 °C) y T_{sk} (unos 33 °C en esas condiciones), el calor metabólico producido por el organismo para soportar la vida es transmitido constantemente a la piel por convección para su disipación. Por el contrario, en condiciones de hipertermia severa, como cuando se realiza un trabajo pesado en condiciones de calor, el gradiente térmico del centro a la piel es menor y la transferencia de calor necesaria se consigue con un gran aumento del FSP. En condiciones de estrés máximo por calor, el FSP puede alcanzar entre 7 y 8 l/min, casi la tercera parte del gasto cardíaco (Rowell 1983). El elevado flujo sanguíneo se consigue gracias a lo que se conoce como el "sistema vasodilatador activo". En la vasodilatación activa intervienen las señales de los nervios simpáticos enviadas del hipotálamo a las arteriolas de la piel, aunque se desconoce cuál es el neurotransmisor que participa en este proceso.

Como ya se mencionó antes, el FSP es el principal responsable del aumento de T_c y, en menor medida, de T_{sk} . T_c aumenta al iniciarse el trabajo muscular y la producción de calor metabólico y, una vez que se alcanza un cierto umbral de T_c , el FSP empieza también a aumentar rápidamente. Tal relación termorreguladora básica se ve influida por factores no térmicos que constituyen un segundo nivel de control crítico para modificar el FSP cuando la estabilidad cardiovascular global se ve amenazada. Las

Figura 42.1 • Modelo de regulación térmica del cuerpo humano.



venas de la piel tienen una gran capacidad de distensión y una parte importante del volumen circulatorio se acumula en estos vasos. De esta forma se facilita el intercambio de calor al hacerse más lenta la circulación por los capilares para aumentar el tiempo de tránsito; sin embargo, esta acumulación, sumada a la pérdida de líquidos producida por la sudoración, puede también reducir la velocidad del retorno de la sangre al corazón. Entre los factores no térmicos cuya influencia en el FSP ha sido demostrada figuran las posturas erguidas, la deshidratación y la respiración con presión positiva (uso de respirador). Actúan a través de los reflejos que se activan cuando la presión de llenado del corazón se reduce y los receptores de la distensión situados en las grandes venas y en la aurícula derecha dejan de ser estimulados; por consiguiente, su efecto es más evidente durante el trabajo aeróbico prolongado en postura erguida. Son reflejos que sirven para mantener la presión arterial y, cuando se realiza un trabajo, para mantener un flujo sanguíneo adecuado a los músculos activos. Por consiguiente, el FSP en un momento dado depende del efecto combinado de las respuestas reflejas termorreguladoras y de otro tipo.

La necesidad de aumentar el flujo sanguíneo periférico con el fin de ayudar a regular la temperatura tiene un gran impacto en la capacidad del sistema cardiovascular para regular la presión arterial. Por esta razón, se necesita una respuesta coordinada de todo el sistema cardiovascular al estrés por calor. ¿Qué ajustes cardiovasculares tienen lugar para permitir el aumento del flujo y el volumen periféricos? Cuando se trabaja en ambientes fríos o térmicamente neutros, el aumento necesario del gasto cardíaco se ve facilitado por el aumento de la frecuencia cardíaca (FC), puesto que el volumen sistólico (VS) experimenta incrementos mínimos cuando la intensidad del esfuerzo supera el 40 % del esfuerzo máximo. En ambientes calurosos, la FC es mayor con cualquier intensidad de trabajo, para compensar el menor volumen sanguíneo central (VSC) y el menor VS. Con niveles superiores de trabajo se alcanza la frecuencia cardíaca máxima y esta taquicardia es, por consiguiente, incapaz de mantener el gasto cardíaco necesario. La segunda manera de aumentar el

FSP es reduciendo el flujo sanguíneo en zonas como el hígado, los riñones y los intestinos (Rowell 1983). El redireccionamiento del flujo puede conseguir un aumento adicional de 800 a 1.000 ml en el flujo sanguíneo periférico y ayuda a compensar los efectos nocivos de la acumulación periférica de sangre.

Sudoración

En el ser humano, el sudor contribuye a la regulación térmica y es secretado por entre 2 y 4 millones de glándulas sudoríparas ecquinas repartidas de manera no uniforme por la superficie del cuerpo. Al contrario que las glándulas sudoríparas apocrinas, que tienden a aparecer agrupadas (en el rostro, las manos y las regiones axilar y genital) y que secretan sudor a los folículos pilosos, las glándulas ecquinas secretan sudor directamente a la superficie de la piel. Es un sudor inodoro, incoloro y relativamente diluido, puesto que se trata de un ultrafiltrado de plasma, motivo por el cual posee un elevado calor latente de evaporación y es ideal para los fines de la termolisis.

Como ejemplo de la eficacia de este sistema termolítico, un hombre que trabaje con un consumo de oxígeno de 2,3 l/min producirá un calor metabólico neto ($M - W$) de aproximadamente 640 W. Sin sudoración, la temperatura corporal aumentaría a un ritmo aproximado de 1 °C cada 6 o 7 min. Con una evaporación eficiente de unos 16 g de sudor por minuto (una tasa razonable), la velocidad de la pérdida de calor puede igualar a la velocidad de acumulación de calor, de manera que la temperatura interna del organismo se mantiene estable; es decir,

$$M - W \pm R \pm C - E = 0$$

Las glándulas ecquinas tienen una estructura sencilla constituida por una parte secretora en forma de espiral, un conducto y un poro cutáneo. El volumen de sudor producido por cada glándula depende tanto de la estructura como de la función de la glándula y la tasa total de sudoración depende a su vez del número de glándulas (densidad de glándulas sudoríparas activas) y de la producción de cada una de esas glándulas. El hecho de que algunas personas suden más que otras puede atribuirse principalmente a las diferencias en el tamaño de las glándulas sudoríparas (Sato y Sato 1983). La aclimatación al calor es otro factor importante que determina la producción de sudor. Con la edad, la disminución de la tasa de sudoración se debe no tanto a un menor número de glándulas ecquinas activas como a una menor producción de sudor por glándula (Kenney y Fowler 1988), probablemente como resultado de la combinación de alteraciones estructurales y funcionales que acompañan al proceso de envejecimiento.

Al igual que las señales vasomotoras, los impulsos nerviosos que reciben las glándulas sudoríparas se originan en los centros supra y preópticos de hipotálamo anterior y descienden a lo largo del tallo encefálico. Las glándulas están enervadas por fibras colinérgicas simpáticas, una rara combinación en el organismo humano. Aunque la acetilcolina es el principal neurotransmisor, los transmisores adrenérgicos (catecolaminas) también estimulan las glándulas ecquinas.

En muchos aspectos, el control de la sudoración es similar al control del flujo sanguíneo periférico. Ambos tienen características similares de activación (umbral) y una relación lineal con el aumento de T_c . La sudoración suele iniciarse antes en la espalda y el pecho, y las curvas de la relación entre la tasa local de sudoración y T_c tienen una mayor pendiente en estos lugares. Al igual que el FSP, la sudoración se ve modificada por factores no térmicos, como una hidratación insuficiente o la hiperosmolalidad. Conviene también recordar que existe un fenómeno llamado "hidromeiosis", que ocurre en ambientes muy húmedos o zonas de la piel cubiertas constantemente por prendas húmedas. En esas zonas siempre húmedas se reduce el flujo de

sudor, lo que sirve como mecanismo de protección contra la deshidratación continua, puesto que el sudor que permanece en la piel en lugar de evaporarse no sirve para fines termolíticos.

Con una tasa de sudoración adecuada, la pérdida de calor por evaporación depende en definitiva del gradiente de la presión del vapor de agua entre la piel húmeda y el aire que la rodea. Así, una elevada humedad ambiental y el uso de prendas gruesas o impermeables limitan la pérdida de calor por evaporación, mientras que el aire seco, las corrientes de aire sobre el cuerpo y una prendas de vestir finas y porosas facilitan la evaporación. Por otra parte, cuando se realiza un trabajo intenso y se produce una sudoración abundante, la pérdida de calor por evaporación puede también verse limitada por la capacidad del organismo para producir sudor (como máximo entre 1 y 2 l/h).

Regulación térmica en ambientes fríos

Una diferencia importante entre la respuesta del ser humano al frío y su respuesta al calor es que la conducta desempeña una función mucho más importante en la primera. Por ejemplo, el uso de prendas adecuadas y la adopción de posturas que reduzcan la superficie disponible para la pérdida de calor ("encogerse") son mucho más importantes en condiciones de frío que en condiciones de calor. Una segunda diferencia es la importancia que cobra la función de las hormonas durante el estrés por frío, así como la mayor secreción de catecolaminas (norepinefrina y epinefrina) y hormonas tiroideas.

Vasoconstricción periférica

Una estrategia eficaz contra la pérdida de calor corporal por radiación y convección consiste en aumentar el aislamiento efectivo proporcionado por la periferia. En el ser humano, esto se consigue reduciendo el flujo sanguíneo periférico, es decir, por vasoconstricción periférica. La constricción de los vasos cutáneos es más pronunciada en las extremidades que en el tronco. Al igual que la vasodilatación activa, la vasoconstricción periférica está también controlada por el sistema nervioso simpático y se ve afectada por T_c , T_{sk} y las temperaturas locales.

El efecto del enfriamiento de la piel en la respuesta de la frecuencia cardíaca y la presión arterial depende de la zona del cuerpo que se haya enfriado y de que el frío sea lo suficientemente intenso como para causar dolor. Por ejemplo, cuando las manos se sumergen en agua fría, aumentan la FC, la presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica (PAD). Cuando el rostro se enfría, la PAS y la PAD aumentan como consecuencia de una respuesta simpática generalizada; sin embargo, la FC se reduce debido a un reflejo parasimpático (LeBlanc 1975). Para aumentar todavía más la complejidad de la respuesta global al frío, existe una gran variabilidad de una persona a otra. Si el estrés por frío es lo suficientemente intenso como para reducir la temperatura interna del organismo, la FC puede aumentar (por la activación simpática) o disminuir (por el mayor volumen sanguíneo central).

Un caso especialmente interesante es el de la *vasodilatación inducida por frío*. Cuando las manos se sumergen en agua fría, el FSP se reduce inicialmente para conservar el calor. A medida que desciende la temperatura de los tejidos, el FSP aumenta paradójicamente, vuelve a reducirse y repite esta pauta cíclica. Se ha sugerido que la vasodilatación inducida por frío sirve para prevenir lesiones en los tejidos por congelación, aunque esta afirmación no ha podido demostrarse todavía. Desde un punto de vista mecánico, la dilatación transitoria se produce probablemente cuando los efectos directos del frío tienen la gravedad suficiente como para reducir la transmisión nerviosa, anulando temporalmente la estimulación inducida por el frío de los receptores simpáticos situados en los vasos sanguíneos (mediadores del efecto constríctor).

Escalofríos

A medida que el cuerpo se va enfriando, la segunda línea de defensa es el escalofrío, que consiste en una contracción aleatoria involuntaria de las fibras musculares superficiales, sin reducir la pérdida de calor pero aumentando su producción. Puesto que este tipo de contracciones no producen ningún trabajo, se libera calor. Una persona en reposo puede multiplicar por tres o cuatro su producción de calor metabólico con una tiritona intensa y aumentar así T_c en 0,5 °C. Las señales para iniciar los escalofríos se originan principalmente en la piel y, además de los centros supra y preópticos de hipotálamo anterior, el hipotálamo posterior interviene también en cierta medida.

Aunque son muchos los factores que contribuyen a la aparición de escalofríos (y a la adaptación al frío en general), uno de los más importantes es la cantidad de grasa corporal. Un hombre con poca grasa subcutánea (entre 2 y 3 mm de espesor) comienza a sentir escalofríos al cabo de 40 min a 15 °C y de 20 min a 10 °C, mientras que un hombre con mayor cantidad de grasa aislante (11 mm) posiblemente no experimente escalofríos a 15 °C y sólo al cabo de 60 min a 10 °C (LeBlanc 1975).

● EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR Y TRABAJO EN AMBIENTES CALUROSOS

Bodil Nielsen

Cuando una persona se ve expuesta al calor, se activan los mecanismos fisiológicos de termólisis para mantener la temperatura normal del organismo. Los flujos de calor entre el organismo y el medio ambiente dependen de la diferencia de temperatura entre:

1. el aire circundante y objetos como paredes, ventanas, el cielo, etc.,
2. la temperatura superficial de la persona

La temperatura superficial de la persona está regulada por mecanismos fisiológicos, como variaciones en el flujo sanguíneo periférico y la evaporación del sudor secretado por las glándulas sudoríparas. Además, la persona puede cambiarse de ropa para influir en el intercambio de calor con el medio ambiente. Cuanto más calurosas sean las condiciones ambientales, menor será la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura superficial de la piel o de la ropa. Con ello, el "intercambio de calor seco" por convección y radiación se reduce en ambientes cálidos comparado con los ambientes fríos. Cuando la temperatura ambiente es superior a la temperatura corporal periférica, el cuerpo absorbe calor de su entorno. En este caso, el calor absorbido, sumado al calor liberado por los procesos metabólicos, debe perderse mediante evaporación del sudor para mantener la temperatura corporal. Así, la evaporación del sudor adquiere una importancia cada vez mayor al aumentar la temperatura ambiente. Por este motivo la velocidad del aire y la humedad ambiental (presión parcial del vapor de agua) son factores ambientales críticos en ambientes calurosos. Cuando la humedad es alta, el cuerpo sigue produciendo sudor, pero la evaporación se reduce. El sudor que no puede evaporarse no tiene efecto de enfriamiento: resbala por el cuerpo y se desperdicia desde el punto de vista de la regulación térmica.

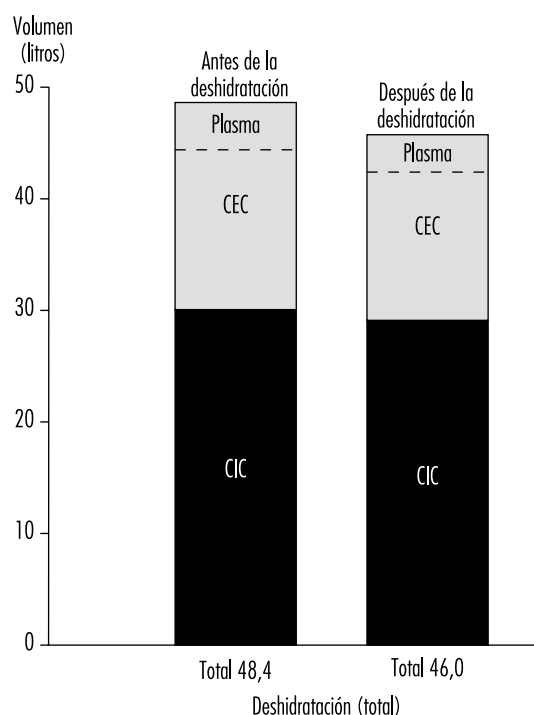
El cuerpo humano contiene aproximadamente un 60 % de agua, lo que supone entre 35 y 40 l en una persona adulta. Casi la tercera parte del agua corporal corresponde al líquido extracelular, que se distribuye entre las células y el sistema vascular (plasma sanguíneo). Los restantes dos tercios del agua corporal corresponden al líquido intracelular, que se encuentra en el interior de las células. La composición y el volumen de los

compartimientos de agua corporal están sometidos a un estrecho control en el que intervienen mecanismos hormonales y neurológicos. El sudor es secretado por los millones de glándulas sudoríparas que se encuentran en la superficie de la piel cuando se activa el centro de la regulación térmica por un aumento de la temperatura corporal. El sudor contiene sal (NaCl, cloruro sódico), aunque en menor medida que el líquido extracelular. Por consiguiente, con el sudor se pierden agua y sal, que deben reponerse.

Efectos de la sudoración

En ambientes térmicamente neutros y confortables se pierden pequeñas cantidades de agua por difusión a través de la piel. Con todo, cuando se realiza un trabajo intenso en condiciones de calor, las glándulas sudoríparas activas pueden excretar grandes cantidades de sudor, hasta más de 2 l/h durante varias horas. Incluso una pérdida de sudor de tan sólo el 1 % del peso corporal (\approx entre 600 y 700 ml) afecta considerablemente al rendimiento laboral, lo que se manifiesta en un aumento de la frecuencia cardíaca (FC) (la FC aumenta unos cinco latidos por minuto por cada 1 % de pérdida de agua corporal) y de la temperatura interna del organismo. Si el trabajo es continuado, se produce un aumento gradual de la temperatura corporal, que puede alcanzar un valor cercano a 40 °C, una temperatura a la que probablemente se producirán trastornos por calor, debido en parte a la pérdida de líquido del sistema vascular (Figura 42.2). La pérdida de agua del plasma sanguíneo reduce la cantidad de sangre que llena las venas centrales y el corazón, de manera que, con cada latido, el corazón tiene que bombear un volumen sistólico más

Figura 42.2 • Distribuciones calculadas de agua en el compartimiento extracelular (CEC) y el compartimiento intracelular (CIC) antes y 2 horas después de deshidratación por esfuerzo a una temperatura ambiente de 30 °C.



Fuente: Nielsen y cols. 1986.

pequeño. Como consecuencia, el gasto cardíaco (la cantidad total de sangre que es expelida del corazón por minuto) tiende a reducirse y la frecuencia cardíaca tiene que aumentar para mantener la circulación y la presión arterial.

Un sistema de control fisiológico, llamado el sistema de reflejos de los barorreceptores, mantiene unos niveles normales del gasto cardíaco y la presión arterial en todas las condiciones. En estos reflejos participan receptores, sensores presentes en el corazón y el sistema arterial (aorta y arterias carótidas) que vigilan el grado de distensión del corazón y los vasos por la sangre que los llena. Los impulsos de estos sensores viajan a través de los nervios hasta el sistema nervioso central y desencadenan una serie de ajustes que, en caso de deshidratación, producen una constricción de los vasos sanguíneos y una reducción del flujo sanguíneo a las vísceras (hígado, intestino, riñones) y a la piel. De esa forma, el flujo sanguíneo disponible se redistribuye para favorecer la circulación hacia los músculos que están trabajando y el cerebro (Rowell 1986).

Una deshidratación severa puede producir agotamiento por calor y colapso circulatorio; en estas circunstancias, la persona es incapaz de mantener la presión arterial y la consecuencia es que pierde el conocimiento. Los síntomas del agotamiento por calor son cansancio generalizado, habitualmente con cefalea, atontamiento y náuseas. La principal causa del agotamiento por calor es el estrés circulatorio provocado por la pérdida hídrica del sistema vascular. La reducción del volumen sanguíneo activa una serie de reflejos que reducen la circulación a los intestinos y la piel. La disminución del flujo sanguíneo periférico agrava la situación, puesto que se reduce la pérdida de calor en la superficie y aumenta todavía más la temperatura interna. El individuo puede desvanecerse por una caída de la presión arterial y la consiguiente disminución del riego cerebral. Cuando la persona se tumba, aumenta el aporte sanguíneo al corazón y al cerebro y, una vez que se enfría y bebe algo de agua, se recupera de forma casi inmediata.

Si los procesos que causan el agotamiento por calor se “descontrolan”, la persona puede sufrir un golpe de calor. La reducción gradual de la circulación periférica hace que la temperatura aumente cada vez más y esto produce una reducción o incluso un bloqueo total de la sudoración y un aumento más rápido de la temperatura interna, que causa colapso circulatorio y puede provocar la muerte o lesiones cerebrales irreversibles. En los pacientes que han sufrido un golpe de calor se observan cambios en la sangre (como elevada osmolaridad, bajo pH, hipoxia, adherencia celular de los hematíes, coagulación intravascular) y daños en el sistema nervioso. El reducido aporte sanguíneo al intestino puede causar daños en los tejidos y la liberación de sustancias (endotoxinas) que provocan fiebre (Hales y Richards 1987). El golpe de calor es una urgencia médica aguda de posibles consecuencias fatales que se describe con más detalle en la sección sobre “trastornos producidos por el calor”.

Además de la pérdida hídrica, la sudoración produce una pérdida de electrolitos, principalmente sodio (Na^+) y cloro (Cl^-), aunque en menor medida también magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) y otros (véase la Tabla 42.1). El sudor contiene menos sal que los compartimientos de líquidos corporales, cuya concentración de sal aumenta con la excreción de sudor. Así se produce un efecto específico en la circulación, al afectar a la musculatura vascular lisa que controla el grado de dilatación de los vasos. Ahora bien, algunos investigadores han demostrado que interfiere con la capacidad de sudoración, de tal manera que se requiere una mayor temperatura corporal para estimular las glándulas sudoríparas: se reduce la sensibilidad de éstas (Nielsen 1984). Si el sudor excretado se repone simplemente con agua, puede ocurrir que el contenido de cloruro sódico en el

Tabla 42.1 • Concentración de electrolitos en el plasma sanguíneo y en el sudor.

Electrolitos y otras sustancias	Concentraciones plasmáticas (g por l)	Concentraciones en el sudor (g por l)
Sodio (Na^+)	3,5	0,2–1,5
Potasio (K^+)	0,15	0,15
Calcio (Ca^{++})	0,1	pequeñas cantidades
Magnesio (Mg^{++})	0,02	pequeñas cantidades
Cloro (Cl^-)	3,5	0,2–1,5
Bicarbonato (HCO_3^-)	1,5	pequeñas cantidades
Proteínas	70	0
Lípidos, glucosa, iones pequeños	15–20	pequeñas cantidades

Adaptado de Vellar 1969.

organismo sea menor que en estado normal (hiposmótico). El resultado es la aparición de calambres por una alteración del funcionamiento de los nervios y los músculos, un trastorno que antes se conocía como “calambres del minero” o “calambres del fogonero” y que puede prevenirse añadiendo sal a la dieta (en los años veinte en el Reino Unido se recomendaba beber cerveza como medida preventiva).

Tanto la menor circulación periférica como la actividad de las glándulas sudoríparas afectan a la regulación térmica y la pérdida de calor de tal manera que la temperatura interna del organismo aumenta más que en un estado de plena hidratación.

En muchas profesiones diferentes, los trabajadores están expuestos a estrés por calor externo; por ejemplo, trabajadores de las plantas siderúrgicas, industrias del vidrio, papeleras, panaderías, industrias mineras. También los deshollinadores y los bomberos están expuestos a calor externo. Las personas que trabajan en espacios confinados como vehículos, buques y aviones pueden sufrir asimismo los efectos del calor. Los trabajadores que utilizan prendas protectoras o que realizan trabajos pesados con prendas impermeables pueden ser víctimas de agotamiento por calor incluso con unas temperaturas ambientales moderadas o frescas. Los efectos nocivos del estrés por calor se manifiestan cuando aumenta la temperatura interna del organismo y se produce una intensa sudoración.

Rehidratación

Los efectos de la deshidratación por la pérdida de sudor pueden remediarse bebiendo la cantidad suficiente de líquidos para reponer el sudor. La rehidratación suele tener lugar durante la recuperación después del trabajo y el ejercicio. Con todo, cuando se realizan trabajos prolongados en ambientes calurosos, el rendimiento laboral mejora si el trabajador ingiere líquidos al mismo tiempo que realiza la actividad. El consejo habitual es, por tanto, beber cuando se tenga sed.

No obstante, existen algunos problemas importantes. Uno de ellos es que la sensación de sed no es lo suficientemente intensa para compensar la pérdida hídrica que se produce al mismo tiempo; en segundo lugar, el tiempo necesario para reponer un gran déficit hídrico es muy largo, más de 12 horas. Por último, existe un límite en la velocidad a la que el agua puede pasar del estómago (donde se almacena) al intestino, donde tiene lugar la absorción. La velocidad es menor que las tasas de sudoración observadas cuando se realizan esfuerzos en condiciones de calor.

Se han efectuado numerosos estudios sobre distintas bebidas para reponer el agua, los electrolitos y los depósitos de hidratos de carbono que pierden los atletas cuando realizan esfuerzos prolongados. Los principales hallazgos han sido los siguientes:

- La cantidad de líquido que puede utilizarse (es decir, que puede transportarse del estómago al intestino) está limitada por la “velocidad de vaciado gástrico”, cuyo máximo es de unos 1.000 ml/h.
- Si el líquido es “hiperosmótico” (contiene iones/moléculas en mayor concentración que la sangre), esta velocidad se reduce. Por el contrario, los “líquidos isoosmóticos” (que contienen agua e iones/moléculas en la misma concentración y osmolalidad que la sangre) pasan a la misma velocidad que el agua pura.
- La adición de pequeñas cantidades de sal y azúcar aumenta la velocidad de absorción de agua en el intestino (Maughan 1991).

Teniendo lo anterior en cuenta, se pueden preparar “líquido de rehidratación” o elegir alguno de los muchos productos que se venden en el mercado. Normalmente el equilibrio hídrico y electrolítico se restablece al beber durante las comidas. Los trabajadores o atletas que pierden grandes cantidades de sudor tienen que esforzarse en beber más de lo que les apetece. El sudor contiene entre 1 y 3 g de NaCl por litro, por lo que la pérdida de más de unos 5 l al día puede causar una depleción salina a no ser que se añadan suplementos a la dieta.

A los trabajadores y atletas se les recomienda también que controlen su equilibrio hídrico pesándose con frecuencia —por ejemplo, por las mañanas (a la misma hora y en las mismas condiciones)— y que intenten mantener un peso constante. En cualquier caso, una variación del peso corporal no refleja necesariamente un cierto grado de deshidratación. El agua forma enlaces químicos con el glucógeno, un hidrato de carbono almacenado en los músculos, y se libera cuando el glucógeno se utiliza durante el ejercicio. Dependiendo del contenido de glucógeno en el organismo, pueden producirse cambios de peso de hasta 1 kg. El peso corporal medido todas las mañanas refleja también los cambios producidos por las “variaciones biológicas” en el contenido de agua: por ejemplo, en relación con el ciclo menstrual, la mujer puede retener hasta 1 o 2 kg de agua durante la fase premenstrual (“tensión premenstrual”).

Control hídrico y electrolítico

El volumen de los compartimientos de agua corporal (es decir, los volúmenes de líquidos extracelular e intracelular) y sus concentraciones de electrolitos se mantienen muy constantes gracias a un equilibrio regulado entre la absorción y la pérdida de líquidos y sustancias.

El agua se obtiene con la ingestión de alimentos y líquidos. Los procesos metabólicos, como la combustión de las grasas y los hidratos de carbono contenidos en los alimentos, liberan también una cierta cantidad de agua. La pérdida de agua se produce en los pulmones durante la respiración, cuando el aire inspirado absorbe el agua presente en las superficies húmedas de las vías respiratorias antes de ser exhalado. En ambientes térmicamente neutros y en reposo, se difunden pequeñas cantidades de agua a través de la piel. Ahora bien, con la sudoración la pérdida de agua puede llegar a más de 1 o 2 litros por hora durante varias horas. El contenido hídrico del organismo está controlado. El aumento de la pérdida de agua a través de la sudoración se compensa con la bebida y una menor excreción de orina, mientras que el exceso de agua se pierde mediante una mayor producción de orina.

Tal control de la absorción y la excreción de agua se ejerce a través del sistema nervioso autónomo y las hormonas. La

sensación de sed aumenta la ingestión de agua y la excreción renal de agua está regulada. También el volumen y la composición de electrolitos de la orina están sujetos a control. Los sensores que participan en este mecanismo de control se encuentran en el corazón y se activan con la “saturación” del sistema vascular. Cuando el llenado del corazón se reduce (por ejemplo, tras la pérdida de sudor), los receptores envían un mensaje a los centros del cerebro responsables de la sed y a las áreas que inducen la liberación de hormona antidiurética (HAD) en la pituitaria posterior que actúa reduciendo el volumen de orina.

Existen también mecanismos fisiológicos que controlan la composición electrolítica de los líquidos corporales a través de procesos que tienen lugar en los riñones. Los alimentos contienen nutrientes, minerales, vitaminas y electrolitos. En el presente contexto, lo más importante es la ingesta de cloruro sódico con la dieta, que varía según los hábitos alimenticios entre 10 y 20-30 g al día. Es una cantidad normalmente mucho mayor de la necesaria, de manera que el exceso se excreta a través de los riñones, un proceso controlado por múltiples mecanismos hormonales (angiotensina, aldosterona, ANF, etc.), a su vez controlados por los estímulos procedentes de los osmorreceptores del cerebro y los riñones en respuesta sobre todo a la osmolalidad del Na⁺ y el Cl⁻ en la sangre y en el líquido renal, respectivamente.

Diferencias individuales y étnicas

No es sorprendente que se observen diferencias en la reacción al calor de hombres y mujeres, así como de personas jóvenes y mayores, ya que difieren en ciertas características que pueden influir en la transferencia del calor, como la superficie, la relación entre peso y altura, el grosor de las capas aislantes de grasa cutánea y la capacidad física de producir trabajo y calor (capacidad aeróbica ≈ tasa máxima de consumo de oxígeno). Los datos disponibles sugieren que la tolerancia al calor se reduce en las personas de edad avanzada, quienes tardan más en sudar que las personas jóvenes y reaccionan con un mayor flujo sanguíneo periférico durante la exposición al calor.

Al comparar los sexos se ha observado que la mujer tolera mejor la humedad que el hombre. En ambientes húmedos, la evaporación del sudor se reduce, de manera que la proporción superficie/masa ligeramente mayor en la mujer podría actuar en su favor. Con todo, la capacidad aeróbica es un importante factor que debe considerarse al comparar la respuesta de distintas personas expuestas al calor. En condiciones de laboratorio, las respuestas fisiológicas al calor son similares cuando se estudian grupos de personas con la misma capacidad física para el trabajo (“absorción máxima de oxígeno”: VO_{2max}): por ejemplo, hombres jóvenes y de edad avanzada, u hombres frente a mujeres (Pandolf y cols. 1988). En este caso, un cierto tipo de trabajo (pedaleo en una bicicleta con ergómetro) produce la misma carga en el sistema circulatorio (es decir, la misma frecuencia cardíaca y el mismo aumento de la temperatura interna) con independencia de la edad y el sexo.

Las mismas consideraciones son válidas para las comparaciones entre diferentes grupos étnicos. Cuando se tienen en cuenta las diferencias en dimensiones corporales y capacidad aeróbica, no se observan diferencias significativas que puedan atribuirse a la raza. Con todo, en la vida cotidiana en general, las personas de edad avanzada tienen, como promedio, un menor VO_{2max} que las jóvenes, y las mujeres, un menor VO_{2max} que los hombres en su mismo grupo de edad.

Por consiguiente, cuando se realiza una tarea específica con una cierta intensidad de trabajo absoluta (medida, por ejemplo, en vatios), la persona con menor capacidad aeróbica registrará un mayor aumento de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal y su capacidad de soportar un estrés adicional por calor externo será menor que las personas con un mayor VO_{2max}.

Para fines de salud y seguridad en el trabajo, se han desarrollado una serie de índices del estrés por calor, que tienen en cuenta la gran variación individual en la respuesta al calor y al trabajo, así como los ambientes calurosos específicos para los que se construye el índice. Los índices se describen con más detalle más adelante en este capítulo.

Las personas expuestas repetidamente al calor lo tolerarán mejor al cabo de tan solo unos días. Se aclimatan. La tasa de sudoración aumenta y el mayor enfriamiento de la piel reduce la temperatura interna y la frecuencia cardíaca durante el trabajo en las mismas condiciones.

Por consiguiente, la aclimatación artificial de los trabajadores cuando se prevé su exposición a elevadas temperaturas (brigadas contra incendios, personal de rescate, personal militar) tendrá probablemente un efecto beneficioso para reducir el estrés.

En resumen, cuanto más calor produce una persona, más calor tiene que disiparse. En un ambiente caluroso, la evaporación del sudor es el factor limitante de la termólisis. Las diferencias individuales en la capacidad de sudoración son considerables. Mientras que algunas personas no poseen glándulas sudoríparas, en la mayoría de los casos el entrenamiento físico y la exposición repetida al calor produce un aumento de la cantidad de sudor excretado durante una prueba normalizada de estrés por calor. El estrés por calor produce un aumento de la frecuencia cardíaca y la temperatura interna del organismo. La frecuencia cardíaca máxima y/o una temperatura interna de unos 40 °C establecen el límite fisiológico absoluto de la capacidad física para el trabajo en un ambiente caluroso (Nielsen 1994).

● TRASTORNOS PRODUCIDOS POR EL CALOR

Tokuo Ogawa

Una elevada temperatura ambiente, una elevada humedad, un esfuerzo extenuante o una disipación insuficiente del calor pueden causar una serie de trastornos provocados por el calor, entre ellos trastornos sistémicos como síncope, edema, calambres, agotamiento y golpe de calor, así como trastornos locales como afecciones cutáneas.

Trastornos sistémicos

Los calambres por calor, el agotamiento por calor y el golpe de calor tienen importancia clínica. Los mecanismos responsables de estos trastornos sistémicos son una insuficiencia circulatoria, un desequilibrio hídrico y electrolítico y/o hipertermia (elevada temperatura corporal). El más grave de todos ellos es el golpe de calor, que puede provocar la muerte si no se trata rápida y correctamente.

Sin considerar la población infantil, existen dos poblaciones que presentan un mayor riesgo de sufrir trastornos por calor. La primera y más grande de ellas es la constituida por las personas de edad avanzada, especialmente cuando carecen de recursos económicos y sufren enfermedades crónicas como diabetes mellitus, obesidad, malnutrición, insuficiencia cardíaca congestiva, alcoholismo crónico y demencia, o necesitan medicamentos que interfieren con la regulación térmica. La segunda población con riesgo de sufrir trastornos por calor está formada por personas sanas que intentan realizar esfuerzos físicos prolongados o se exponen a un estrés excesivo por calor. Los factores que predisponen a las personas jóvenes a sufrir trastornos por calor, además de una disfunción congénita o adquirida de las glándulas sudoríparas, son una mala forma física, la falta de

aclimatación, una baja eficiencia laboral y una menor relación entre superficie cutánea y masa corporal.

Síncope por calor

El síncope es una pérdida de conocimiento temporal como resultado de la reducción del riego cerebral que suele ir precedido por palidez, visión borrosa, mareo y náuseas. Puede ocurrir en personas expuestas a estrés por calor. El término *colapso por calor* se ha utilizado como sinónimo de *síncope por calor*. Los síntomas se atribuyen a vasodilatación cutánea, acumulación de sangre por la postura corporal con el resultado de un menor retorno venoso al corazón y un gasto cardíaco también reducido. La deshidratación leve que se produce en la mayoría de las personas expuestas al calor aumenta la probabilidad de sufrir un síncope por calor. Las personas con enfermedades cardiovasculares o que no están aclimatadas tienen más riesgo de sufrir un colapso por calor. Las víctimas suelen recuperar el conocimiento rápidamente una vez que se tumban en posición supina.

Edema por calor

En personas no aclimatadas expuestas a un ambiente caluroso puede aparecer edema leve dependiente, es decir, la hinchazón de manos y pies. Suele afectar a las mujeres y desaparece con la aclimatación. Remite al cabo de unas horas cuando el paciente se tumba en un lugar fresco.

Calambres por calor

Los calambres por calor pueden aparecer tras una intensa sudoración como consecuencia de un trabajo físico prolongado. Aparecen espasmos dolorosos en las extremidades y en los músculos abdominales sometidos a un trabajo intenso y a la fatiga, aunque la temperatura corporal apenas aumenta. Esos calambres están causados por la depleción salina que se produce cuando la pérdida hídrica resultante de una sudoración profusa y prolongada se repone con agua no suplementada con sal y cuando los niveles circulantes de sodio descienden por debajo de un nivel crítico. Los calambres por calor son, en sí mismos, relativamente inocuos. Suelen afectar a personas en buena forma física que son capaces de realizar un esfuerzo físico prolongado y antiguamente se conocían como "calambres del minero" o "calambres del cortador de cañas" porque afectaban con frecuencia a estos trabajadores.

El tratamiento de los calambres por calor consiste en interrumpir la actividad, descansar en un lugar fresco y reponer los líquidos y electrolitos perdidos. La exposición al calor debe evitarse durante al menos 24 o 48 horas.

Agotamiento por calor

El agotamiento por calor es el trastorno más común provocado por el calor que se observa en la práctica clínica. Se produce como resultado de una deshidratación severa tras perderse una gran cantidad de sudor. Es típico en personas jóvenes por lo demás sanas que realizan un esfuerzo físico prolongado (agotamiento por calor inducido por el esfuerzo), como corredores de maratón, personas que practican deportes al aire libre, reclutas militares y trabajadores de la construcción. La principal característica de este trastorno es una deficiencia circulatoria causada por depleción hídrica y/o salina. Puede considerarse como un estadio incipiente del golpe de calor que, si no recibe tratamiento, puede progresar a éste último. Tradicionalmente se han distinguido dos tipos de agotamiento por calor: el provocado por depleción hídrica y el provocado por depleción salina, aunque con frecuencia se da una mezcla de ambos tipos.

El agotamiento por calor producido por depleción hídrica aparece como resultado de una intensa y prolongada sudoración y una ingesta insuficiente de agua. Puesto que el sudor contiene

iones de sodio en una concentración que oscila entre 30 y 100 miliequivalentes por litro, menor que su concentración plasmática, la sudoración profusa causa déficit hídrico (reducción del contenido de agua corporal) e hipernatremia (aumento de la concentración plasmática de sodio). El agotamiento por calor se caracteriza por sed, debilidad, fatiga, atontamiento, ansiedad, oliguria (reducción de la excreción de orina), taquicardia (pulso acelerado) e hipertermia moderada (39 °C o superior). La deshidratación produce también una reducción de la sudoración, un aumento de la temperatura cutánea y un aumento de las concentraciones plasmáticas de proteínas y sodio y del hematocrito (proporción entre el volumen de hematíes y el volumen de sangre).

El tratamiento consiste en trasladar a la víctima a un lugar fresco, permitir que descanse tumbada con las rodillas levantadas, humedecer su cuerpo con una toalla o esponja fría y reponer los líquidos perdidos por vía oral o, si la ingestión oral es imposible, por infusión intravenosa. La cantidad de agua y sal repuesta debe vigilarse estrechamente, así como la temperatura y el peso corporales. La ingestión de agua no debe regularse según la sed que tenga la víctima, especialmente cuando los líquidos perdidos se reponen con agua del grifo, porque la dilución de la sangre apaga inmediatamente la sensación de sed, retrasando así la recuperación del equilibrio hídrico del organismo. El fenómeno de ingestión insuficiente de agua se llama deshidratación voluntaria. Además, el suministro de agua sin suplemento de sales puede complicar los trastornos por calor, según se describe más adelante. La deshidratación de más del 3 % del peso corporal debe siempre tratarse con reposición de agua y electrolitos.

El agotamiento por calor como consecuencia de depleción salina se produce tras una intensa y prolongada sudoración y una reposición insuficiente de agua y sales. Su aparición se ve favorecida por una aclimatación incompleta, vómitos, diarrea, etc. Es un tipo de agotamiento por calor que suele aparecer unos días después de la depleción hídrica. Es más común en personas sedentarias de edad avanzada expuestas al calor que han bebido una gran cantidad de agua para calmar su sed. Los síntomas más frecuentes son cefalea, atontamiento, debilidad, fatiga, náuseas, vómitos, diarrea, anorexia, espasmos musculares y confusión mental. En los análisis de sangre se observa un menor volumen plasmático, un aumento del hematocrito y de los niveles plasmáticos de proteínas e hipercalcemia (exceso de calcio en sangre). En estos casos, la detección precoz y un tratamiento rápido son fundamentales, consistiendo este último en trasladar al paciente a un lugar fresco, permitir que descanse tumbado y reponer el agua y los electrolitos. Deben vigilarse la osmolaridad o la densidad específica de la orina, así como las concentraciones plasmáticas de urea, sodio y cloro, la temperatura corporal y la ingesta de agua y sales. Si la víctima recibe un tratamiento adecuado, normalmente se empieza a sentir mejor al cabo de unas horas y se recupera sin secuelas. De lo contrario, puede evolucionar en poco tiempo a un golpe de calor.

Golpe de calor

El golpe de calor es una urgencia médica grave que puede provocar la muerte. Es un cuadro clínico complejo caracterizado por una hipertemia incontrolada que causa lesiones en los tejidos. Semejante elevación de la temperatura corporal se produce inicialmente por una intensa congestión por calor debida a una carga térmica excesiva. La hipertermia resultante provoca una disfunción del sistema nervioso central y, entre otras cosas, un fallo en el mecanismo normal de regulación térmica, acelerando así el aumento de la temperatura corporal. Existen dos tipos principales de golpe de calor: golpe de calor clásico y golpe de calor inducido por el esfuerzo. El primero suele afectar a personas muy

jóvenes, personas de edad avanzada, personas obesas o personas con escasa preparación física cuando realizan actividades normales con exposición prolongada a elevadas temperaturas, mientras que el segundo se produce en adultos jóvenes cuando realizan esfuerzos físicos. Además, existe una modalidad mixta de golpe de calor que combina los rasgos de las dos formas anteriores.

Las personas de edad avanzada, sobre todo las que padecen un trastorno crónico, como enfermedad cardiovascular, diabetes mellitus o alcoholismo, o las que tienen que recibir ciertos medicamentos, especialmente fármacos psicotrópicos, presentan un elevado riesgo de sufrir un golpe de calor clásico. Por ejemplo, durante olas prolongadas de calor se ha observado que la tasa de mortalidad de la población mayor de 60 años es diez veces mayor que la de la población con 60 o menos años. También se ha observado un aumento similar de la mortalidad de la población musulmana mayor de 60 años durante el peregrinaje a la Meca, predominando en este caso el tipo mixto de golpe de calor. Los factores que predisponen a las personas de edad avanzada a un golpe de calor, excluidas las enfermedades crónicas mencionadas antes, son: percepción térmica reducida, inhibición de las respuestas vasomotoras y sudomotoras (reflejo de sudoración) a cambios en la carga térmica y menor capacidad de aclimatación al calor.

Las personas que trabajan o realizan esfuerzos físicos intensos en ambientes calurosos y húmedos corren un alto riesgo de sufrir un trastorno por calor inducido por el esfuerzo, ya sea agotamiento por calor o golpe de calor. Los atletas que se someten a un intenso esfuerzo físico pueden desarrollar hipertermia si producen calor metabólico a una gran velocidad, incluso aunque el ambiente no sea muy caluroso y, como resultado, desarrollan con frecuencia una patología asociada al estrés por calor. Las personas con peor preparación física corren menos riesgo en este sentido, ya que con más conscientes de su propia capacidad y no realizan esfuerzos tan grandes. Claro está que las personas que practican deportes por diversión y que se sienten altamente motivadas y eufóricas, intentan con frecuencia esforzarse más allá de su capacidad física y pueden sucumbir a un trastorno por calor (normalmente agotamiento por calor). Una mala aclimatación, una hidratación inadecuada, un atuendo poco apropiado, el consumo de alcohol y las enfermedades cutáneas que causan anhidrosis (reducción o ausencia de sudoración), principalmente sarpullidos (véase más adelante), agravan los síntomas.

Los niños son más propensos a sufrir agotamiento por calor o golpe de calor que los adultos. Producen más calor metabólico por unidad de masa y su capacidad de disipación del calor es menor por su capacidad relativamente pequeña de producir sudor.

Características clínicas del golpe de calor

El golpe de calor se define por tres criterios:

1. hipertermia severa con una temperatura interna (corporal profunda) normalmente superior a 42 °C;
2. alteraciones del sistema nervioso central,
3. piel caliente y seca con cese de la sudoración.

El diagnóstico de golpe de calor se establece fácilmente cuando se cumplen estos tres criterios. Desde luego, puede pasarse por alto cuando uno de esos criterios no se cumple, no está claro o se ignora. Por ejemplo, a no ser que la temperatura interna se mida correctamente y sin demora, es posible que no se detecte una hipertermia profunda; o en los estadios iniciales de un golpe de calor inducido por el esfuerzo puede persistir la sudoración o incluso ésta ser profusa, manteniendo la piel húmeda.

El golpe de calor suele aparecer de manera brusca y sin síntomas precursores, aunque algunos pacientes con riesgo inminente de golpe de calor pueden presentar síntomas de alteraciones del sistema nervioso central, como cefalea, náuseas, atontamiento, debilidad, somnolencia, confusión, ansiedad, desorientación, apatía, conducta irracional, temblores, espasmos y convulsiones. Una vez que se produce el golpe de calor, las alteraciones del sistema nervioso central están presentes en todos los casos. El nivel de consciencia suele estar deprimido, siendo frecuente el coma profundo. Los temblores aparecen en la mayoría de los casos, especialmente en personas con buena preparación física. Los signos de disfunción del cerebelo son evidentes y pueden persistir como secuela. Las pupilas dilatadas constituyen otra observación frecuente en estos pacientes. En las personas que sobreviven a un golpe de calor pueden quedar secuelas como ataxia cerebelosa (ausencia de coordinación muscular), hemiplejía (parálisis en un lado del cuerpo), afasia e inestabilidad emocional.

También son frecuentes los vómitos y la diarrea. La taquipnea (respiración acelerada) suele presentarse en los primeros estadios y el pulso puede ser débil y rápido. La hipotensión, una de las complicaciones más comunes, se produce como resultado de una marcada deshidratación, una vasodilatación periférica intensa y la depresión transitoria del músculo cardíaco. En algunos casos se observa insuficiencia renal aguda, especialmente cuando el golpe de calor está provocado por un esfuerzo.

En los casos graves se producen hemorragias en todos los órganos parenquimáticos, en la piel (petequia) y en el tracto gastrointestinal. Las manifestaciones hemorrágicas clínicas son melanorragia (heces de color oscuro), hematemesis (vómitos con sangre), hematuria (sangre en la orina), hemoptisis (sangre en los esputos), epistaxis (hemorragia nasal), púrpura (manchas moradas), equimosis (marcas negras y azules) y hemorragia conjuntival. Con frecuencia se produce coagulación intravascular. La diatesis hemorrágica (tendencia a sangrar) suele asociarse a coagulación intravascular diseminada (CID). La CID ocurre principalmente en las personas que sufren un golpe de calor inducido por el esfuerzo y en las que aumenta la actividad fibrinolítica (disolvente de coágulos) del plasma. Por otra parte, la hipertermia de todo el organismo reduce el recuento de plaquetas, prolonga el tiempo de protrombina, disminuye los factores de la coagulación y eleva la concentración de los productos de degradación de la fibrina (PDF). Los pacientes con signos de CID y hemorragia presentan una mayor temperatura interna, una menor presión arterial, un menor pH, una menor pO_2 en la sangre arterial y una mayor incidencia de oliguria, anuria y shock, así como una mayor tasa de mortalidad.

El shock es también una complicación frecuente. Se atribuye a una insuficiencia circulatoria periférica que se agrava con la CID, causando la diseminación de coágulos en el sistema microcirculatorio.

Tratamiento del golpe de calor

El golpe de calor es una urgencia médica que requiere un rápido diagnóstico y un tratamiento agresivo para salvar la vida del paciente. La medición correcta de la temperatura interna del organismo es fundamental: la temperatura rectal o esofágica debe medirse utilizando un termómetro que pueda leer hasta 45 °C. La temperatura no debe nunca medirse en la boca o la axila, ya que puede variar significativamente con respecto a la temperatura interna real.

El objetivo del tratamiento es reducir la temperatura corporal disminuyendo la exposición al calor y facilitando la disipación de

calor desde la piel. El tratamiento consiste en trasladar al paciente a un lugar seguro, fresco, a la sombra y bien ventilado, despojarle de las prendas innecesarias y airearlo. El enfriamiento del rostro y la cabeza puede ayudar a reducir la temperatura del cerebro.

Se ha puesto en duda la eficiencia de algunas técnicas de enfriamiento. Se aduce que la aplicación de compresas frías en los principales vasos sanguíneos del cuello, las ingles y las axilas, la inmersión del cuerpo en agua fría o la utilización de sábanas frías para envolver al paciente pueden desencadenar tiritonas y vasoconstricción periférica, impidiendo así un enfriamiento eficiente. El tratamiento de elección recomendado tradicionalmente cuando el paciente llegaba al centro médico era su inmersión en un baño de agua fría, seguido por un masaje vigoroso de la piel para reducir al mínimo la vasoconstricción periférica. Es un método de enfriamiento que presenta varias desventajas: plantea dificultades al personal de enfermería por la necesidad de administrar al paciente oxígeno y líquidos y controlar continuamente la presión arterial y el electrocardiograma, así como problemas higiénicos del baño por los vómitos y diarreas que sufren los pacientes comatosos. Un método alternativo consiste en pulverizar un líquido frío sobre el cuerpo del paciente al mismo tiempo que se aplica una corriente de aire para promover la evaporación del líquido en la piel. Es un método de enfriamiento que puede reducir la temperatura corporal entre 0,03 y 0,06 °C/min.

En cuanto el paciente llega al centro médico, deben adoptarse medidas para prevenir las convulsiones, temblores y tiritonas. La monitorización cardíaca continua, la determinación de las concentraciones plasmáticas de electrolitos y los análisis de gases sanguíneos venosos son esenciales. Debe iniciarse sin demora la infusión intravenosa de soluciones electrolíticas a una temperatura relativamente baja de unos 10 °C, junto con oxigenoterapia controlada. La entubación de la tráquea para proteger las vías aéreas, la inserción de un catéter cardíaco para estimar la presión venosa central, la colocación de un tubo gástrico y la inserción de un catéter urinario son otras de las medidas recomendadas.

Prevención del golpe de calor

Para prevenir un golpe de calor, deben tenerse en cuenta numerosos factores humanos, como la aclimatación, la edad, la anatomía, el estado de salud en general, la ingesta de agua y sales, la vestimenta, las peculiaridades de los cultos religiosos y la ignorancia o la propensión a ignorar las normas que tienen como finalidad promover la salud pública.

Antes de realizar un esfuerzo físico en un ambiente caluroso, los trabajadores, los atletas o los peregrinos deben ser informados de la carga de trabajo y el nivel de estrés por calor que tendrán que soportar, así como los riesgos de un golpe de calor. Antes de arriesgarse a realizar una actividad física intensa y/o a exponerse a altas temperaturas, se recomienda un período de aclimatación. El nivel de actividad debe corresponderse con la temperatura ambiente y el esfuerzo físico debe evitarse o al menos reducirse al mínimo durante las horas más calurosas del día. Cuando se realiza un esfuerzo físico, es esencial tener libre acceso a agua. Puesto que con el sudor se pierden electrolitos y la posibilidad de ingesta voluntaria de agua puede estar limitada, retrasando así la reposición de líquidos para evitar la deshidratación térmica, tras una intensa sudoración deben también reponerse los electrolitos. La utilización de una ropa adecuada es otra medida importante. Las prendas fabricadas con tejidos que absorben el agua y son permeables al aire y al vapor de agua facilitan la disipación del calor.

Alteraciones cutáneas

La erupción por calor o *miliaria* es la alteración cutánea más común asociada a la exposición al calor. Se produce cuando la obstrucción de los conductos sudoríparos impide que el sudor alcance la superficie cutánea y se evapore. El síndrome de retención del sudor aparece cuando la anhidrosis (imposibilidad de liberar sudor) afecta a toda la superficie corporal y predispone al paciente a un golpe de calor.

La miliaria suele estar provocada por un esfuerzo físico en un ambiente caluroso y húmedo, enfermedades febriles, aplicación de compresas húmedas, vendajes, escayolas o cintas adhesivas, o la utilización de prendas poco permeables. La miliaria se clasifica en tres tipos según el grado de retención de sudor: miliaria cristalina, miliaria rubra y miliaria profunda.

La miliaria cristalina está causada por una retención del sudor en o justo por debajo del estrato córneo de la piel, en donde se forman ampollas pequeñas, transparentes, sin inflamación. Suele aparecer en "grupos" tras sufrir quemaduras solares severas o durante una enfermedad febril. Por lo demás, este tipo de miliaria es asintomática y remite espontáneamente en unos días, cuando las ampollas se rompen y forman escamas.

La miliaria rubra aparece cuando la exposición intensa al calor produce una sudoración prolongada y profusa. Es el tipo más frecuente de miliaria, caracterizado por la acumulación de sudor en la epidermis. Se forman pápulas, vesículas o pústulas rojas, acompañadas por sensación de quemazón y picor (sarpullido). El conducto sudoríparo está obstruido en su parte terminal, lo que se atribuye a la acción de bacterias aeróbicas residentes, principalmente cocos, cuya población aumenta considerablemente en el estrato córneo cuando éste se hidrata con el sudor. Las bacterias secretan una toxina que daña las células epiteliales córneas del conducto sudoríparo y provoca una reacción inflamatoria que precipita la obstrucción de la luz del conducto. La infiltración de leucocitos provoca la completa obstrucción del conducto e imposibilita el flujo del sudor durante varias semanas.

En la miliaria profunda, el sudor queda retenido en la dermis y produce unas pápulas planas e inflamadas, nódulos y abscesos, con menos sensación de picor que en la miliaria rubra. Es un tipo de miliaria que se encuentra normalmente sólo en las zonas tropicales. Puede evolucionar en una secuencia progresiva a partir de una miliaria rubra tras episodios repetidos de sudoración intensa, cuando la reacción inflamatoria se extiende hacia abajo desde las capas superiores de la piel.

Astenia anhidrótica tropical. Es un término que se puso de moda durante la segunda Guerra Mundial cuando las tropas desplegadas en zonas tropicales sufrieron erupciones por calor e intolerancia al calor. Es una modalidad del síndrome de retención del sudor que se encuentra en ambientes tropicales calurosos y húmedos. Se caracteriza por anhidrosis y erupciones tipo miliaria, acompañadas de síntomas de congestión por calor, como palpitaciones, pulso acelerado, hipertermia, cefalea y debilidad. Produce rápida y gradualmente intolerancia a la actividad física en ambientes calurosos. Suele ir precedida de una miliaria rubra generalizada.

Tratamiento. El tratamiento inicial y esencial de la miliaria y el síndrome de retención del sudor requiere el traslado de la persona afectada a un ambiente fresco. Las duchas frescas, el secado suave de la piel y la aplicación de una loción de calamina puede atenuar las molestias del paciente. La aplicación de bacteriostatos químicos es una medida eficaz para prevenir la expansión de la microflora y preferible al uso de antibióticos, ya que éstos pueden hacer que los microorganismos desarrollen resistencia.

La obstrucción de los conductos sudoríparos suele remitir al cabo de unas 3 semanas, como resultado de la renovación de la epidermis.

PREVENCIÓN DEL ESTRÉS POR CALOR

Sarah A. Nunneley

Aunque el ser humano tiene una capacidad considerable para compensar el estrés por calor que ocurre en condiciones naturales, muchos entornos profesionales y/o actividades físicas exponen a los trabajadores a unas temperaturas demasiado elevadas que suponen un riesgo para su salud y productividad. En este artículo se describen las técnicas que pueden utilizarse para reducir la incidencia de los trastornos provocados por el calor y su gravedad. Las intervenciones se dividen en cinco categorías: aumentar la tolerancia al calor de las personas expuestas, asegurar una reposición puntual de los líquidos y electrolitos perdidos, modificar las prácticas de trabajo para reducir la carga de calor por esfuerzo, controlar las condiciones climáticas y utilizar prendas protectoras.

Cuando se evalúa el nivel de exposición al calor y se preparan estrategias preventivas, no deben ignorarse los factores ajenos al lugar de trabajo que pueden influir en la tolerancia térmica. Por ejemplo, la carga fisiológica total y la susceptibilidad potencial a los trastornos por calor será mucho mayor si el estrés por calor continúa fuera de las horas de trabajo, ya sea por realizar un segundo trabajo, realizar actividades recreativas extenuantes o residir en barrios especialmente calurosos. Además, el estado nutricional y el grado de hidratación reflejan pautas de alimentación o ingestión de líquidos que también pueden variar según la estación o las prácticas religiosas.

Aumento de la tolerancia al calor

Los candidatos a puestos de trabajo expuestos al calor deben encontrarse en un buen estado de salud general y poseer unos atributos físicos adecuados para el trabajo que deben realizar. La obesidad o las enfermedades cardiovasculares contribuyen al riesgo y las personas con antecedentes de patologías previas inexplicadas o recurrentes asociadas al calor no deben ser asignadas a tareas que conlleven un gran estrés térmico. A continuación se comentan algunas de las características físicas y fisiológicas que pueden influir en la tolerancia al calor y que se dividen en dos grandes categorías: características intrínsecas fuera del control del individuo, como tamaño corporal, sexo, etnicidad y edad; y características adquiridas, que al menos en parte pueden ser controladas por la persona y que son aptitud física, aclimatación al calor, obesidad, trastornos de la salud y estrés autoinducido.

Los trabajadores deben ser informados de la naturaleza del estrés por calor y sus efectos nocivos, así como de las medidas protectoras ofrecidas en el lugar de trabajo. Deben saber que la tolerancia al calor depende en gran medida de la ingesta de suficiente cantidad de agua y de una dieta equilibrada. Además, los trabajadores deben conocer los síntomas de los trastornos producidos por el calor, entre ellos mareo, palidez, dificultades respiratorias, palpitaciones y sed extrema. Deben aprender también las técnicas fundamentales de primeros auxilios y saber cuándo deben solicitar ayuda si reconocen los síntomas en ellos mismos o en sus compañeros.

Las empresas deben implantar un sistema para notificar los incidentes relacionados con el calor en el lugar de trabajo. La aparición de trastornos por calor en más de una persona (o repetidamente en una misma persona) es con frecuencia una señal de advertencia de un problema grave inminente e indica la necesidad de realizar una evaluación inmediata del lugar de trabajo y revisar la idoneidad de las medidas preventivas.

Características del ser humano que influyen en la adaptación

Dimensiones corporales. Los niños y los adultos de muy pequeño tamaño presentan dos desventajas potenciales para el trabajo en ambientes calurosos. En primer lugar, el trabajo impuesto externamente representa una carga relativa mayor para un organismo con poca masa muscular, ya que provoca un mayor aumento de la temperatura interna del organismo y la aparición más rápida de fatiga. Además, la mayor proporción entre superficie y masa corporal de las personas de talla pequeña puede constituir una desventaja en condiciones de extremo calor. En conjunto, estos factores explican por qué los hombres que pesan menos de 50 kg corren un mayor riesgo de sufrir un trastorno por calor cuando realizan actividades mineras a grandes profundidades.

Sexo. Los primeros estudios de laboratorio realizados en mujeres parecieron demostrar que éstas eran relativamente intolerantes al calor en comparación con los hombres. Por lo demás, ahora sabemos que casi todas las diferencias pueden explicarse por las dimensiones corporales y los niveles adquiridos de capacidad física y aclimatación al calor. No obstante, existen algunas ligeras diferencias entre los dos sexos en cuanto a los mecanismos de disipación del calor: las tasas máximas de sudoración son más elevadas en el hombre y pueden aumentar su tolerancia en ambientes extremadamente calurosos y secos, mientras que las mujeres están mejor capacitadas para suprimir una sudoración excesiva y, por tanto, para conservar el agua corporal y el calor, en ambientes calurosos y húmedos. Aunque el ciclo menstrual se asocia a un cambio en la temperatura basal del organismo y altera ligeramente las respuestas termorreguladoras de la mujer, estos ajustes fisiológicos son demasiado pequeños para influir en la tolerancia al calor y en la eficiencia de la regulación térmica en situaciones laborales reales.

Cuando se tiene en cuenta el físico y la preparación física de la persona, hombres y mujeres son esencialmente similares en sus respuestas al estrés por calor y en su capacidad de aclimatación al trabajo en ambientes calurosos. Por este motivo, la selección de trabajadores para puestos de trabajo en ambientes calurosos debe basarse en la salud y la forma física de cada persona, no en el sexo. Las personas de talla muy pequeña y sedentarias, sea cual sea su sexo, tolerarán peor la exposición al calor en el trabajo.

El efecto del embarazo en la tolerancia al calor de la mujer no está claro, pero la alteración de los niveles hormonales y las mayores demandas circulatorias que el feto impone a la madre pueden aumentar su susceptibilidad al desmayo. La hipertermia materna severa (sobrecalentamiento) causada por una enfermedad parece aumentar la incidencia de malformaciones fetales, pero no existen pruebas de un efecto similar causado por estrés térmico en el trabajo.

Etnicidad. Aunque los distintos grupos étnicos proceden de climas diferentes, existen pocas pruebas de diferencias intrínsecas o genéticas en la respuesta al estrés por calor. Todos los seres humanos parecen funcionar como animales tropicales; su capacidad de vivir y trabajar en un rango de condiciones térmicas refleja su adaptación mediante conductas complejas y el desarrollo de la tecnología. Las diferencias étnicas en las respuestas al estrés térmico están probablemente más relacionadas con las dimensiones corporales y el estado nutricional que con los rasgos intrínsecos de cada raza.

Edad. Las poblaciones industriales muestran generalmente un declive gradual en la tolerancia al calor a partir de los 50 años de edad. Existen algunas evidencias de una reducción con la edad de la vasodilatación periférica (ampliación de la cavidad de los vasos sanguíneos de la piel) y la tasa máxima de sudoración, pero estos cambios pueden atribuirse principalmente a una menor actividad física y a una mayor acumulación de grasa corporal. La edad no parece reducir la tolerancia al calor ni la capacidad de aclimatación si la persona mantiene un alto nivel de

acondicionamiento aeróbico. Con todo, el envejecimiento de la población se asocia a una mayor incidencia de enfermedades cardiovasculares y otras patologías que pueden reducir la tolerancia individual al calor.

Capacidad física. La capacidad aeróbica máxima (VO_{2max}) es probablemente el principal determinante de la capacidad de una persona para realizar un trabajo físico prolongado en condiciones de calor. Como se comentaba antes, las diferencias observadas en un principio entre distintos grupos en cuanto a la tolerancia al calor y que se atribuyeron al sexo, la raza o la edad, se achacan ahora a diferencias en la capacidad aeróbica y la aclimatación al calor.

Para conseguir y mantener una buena capacidad física para el trabajo, el sistema de transporte de oxígeno tiene que desafiarse repetidamente mediante un esfuerzo intenso mantenido durante al menos 30 o 40 minutos, 3 o 4 días a la semana. En algunos casos, la actividad laboral proporciona la preparación física necesaria, pero la mayoría de los puestos de trabajo en la industria son menos extenuantes y deben complementarse con un programa de ejercicio regular para adquirir una forma física óptima.

La pérdida de capacidad aeróbica (pérdida de forma física) es relativamente lenta, de manera que la inactividad durante los fines de semanas o durante unas vacaciones de 1 o 2 semanas produce sólo cambios mínimos. Por el contrario, cuando la persona se ve obligada a cambiar su forma de vida durante semanas o meses por una lesión, una enfermedad crónica u otros factores de estrés, se produce una marcada reducción de la capacidad aeróbica en el plazo de semanas o meses.

Aclimatación al calor. La aclimatación al trabajo en ambientes calurosos puede aumentar considerablemente la tolerancia del ser humano a este factor de estrés, de manera que una tarea que en un principio la persona no aclimatada es incapaz de realizar, se convierte en un trabajo más fácil al cabo de un periodo de ajuste gradual. Las personas en muy buena forma física suelen aclimatarse al calor y ser capaces de completar el proceso en menos tiempo y con menos estrés que las personas sedentarias. La estación afecta también a la duración de este proceso; los trabajadores contratados en verano pueden estar ya parcialmente aclimatados al calor, mientras que los contratados en invierno necesitarán un periodo más largo de ajuste.

En la mayoría de las situaciones, la aclimatación puede conseguirse mediante la incorporación gradual del trabajador a la tarea expuesta al calor. Por ejemplo, el trabajador nuevo puede ser asignado al trabajo sólo por las mañanas y durante periodos de tiempos cada vez mayores durante los primeros días. Es un tipo de aclimatación en el puesto que debe realizarse bajo la estrecha supervisión de personal experimentado; el nuevo trabajador debe estar autorizado en todo momento a retirarse a ambientes más frescos en cuanto experimente síntomas de intolerancia. Las condiciones extremas pueden exigir un protocolo formal de exposición progresiva al calor, como el utilizado para los trabajadores de las minas de oro en Sudáfrica.

El mantenimiento de la plena aclimatación al calor en el trabajo exige la exposición al calor mientras se trabaja entre tres y cuatro veces a la semana; una menor frecuencia o una exposición pasiva al calor tendrá un efecto mucho más débil y puede reducir gradualmente la tolerancia al calor. En todo caso, el descanso laboral durante los fines de semana no parece tener un efecto apreciable en la aclimatación. La interrupción de la exposición durante 2 o 3 semanas hace que se pierda parte de la aclimatación, aunque algo permanecerá en las personas que habitan en zonas cálidas y/o que realizan ejercicio aeróbico regular.

Obesidad. Un alto contenido de grasa corporal tiene escaso efecto en la regulación térmica, ya que para la disipación de calor en la piel participan los capilares y la glándulas sudoríparas que se encuentran más cerca de la superficie de la piel que de la

capa de grasa subcutánea. Desde luego, las personas obesas están en desventaja por su exceso de peso corporal, ya que todos los movimientos les exigen un mayor esfuerzo muscular y, por consiguiente, generan más calor que en las personas delgadas. Además, la obesidad suele reflejar un estilo de vida sedentario que reduce la capacidad aeróbica y dificulta la aclimatación al calor.

Trastornos de la salud y otros factores de estrés. La tolerancia al calor de un trabajador en un día cualquiera puede verse reducida por una serie de trastornos de la salud. Como ejemplos pueden citarse las enfermedades febriles (temperatura corporal mayor de la normal), vacunación reciente o gastroenteritis asociada a una alteración del equilibrio hídrico o electrolítico. Las afecciones cutáneas, como quemaduras solares y eritemas, pueden reducir la capacidad de sudoración. Además, el riesgo de sufrir un trastorno por calor aumenta en ocasiones con la prescripción de algunos medicamentos, entre ellos simpatomiméticos, anticolinérgicos, diuréticos, fenotiazinas, antidepresivos cíclicos e inhibidores de la monoaminoxidasa.

El consumo de alcohol es un problema frecuente y grave entre los trabajadores expuestos al calor. El alcohol no sólo reduce la ingesta de alimentos y agua, sino que también actúa como un diurético (aumenta la cantidad de orina excretada) y altera la capacidad de razonamiento. Los efectos nocivos del alcohol persisten muchas horas después del momento de su consumo. Los alcohólicos que sufren un golpe de calor tienen una tasa de mortalidad mucho mayor que los no alcohólicos.

Reposición oral de agua y electrolitos

Hidratación. La evaporación del sudor es la principal vía de disipación del calor corporal y se convierte en el único mecanismo posible de enfriamiento cuando la temperatura ambiente es mayor que la corporal. Los requisitos de agua no pueden reducirse con el entrenamiento físico, sino tan sólo reduciendo la exposición al calor del trabajador. La pérdida hídrica y la rehidratación en el ser humano han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años y ahora se dispone de un mayor volumen de información.

Una persona de 70 kg puede tener una tasa de sudoración de entre 1,5 y 2,0 l/h indefinidamente, y un trabajador puede perder varios litros o hasta el 10 % de su peso corporal a lo largo de una jornada de trabajo en un ambiente extremadamente caluroso. La pérdida será incapacitante a no ser que al menos parte del agua se reponga durante el turno de trabajo. Con todo, puesto que la absorción de agua en el intestino tiene un tope de unos 1,5 l/h durante el trabajo, unas tasas superiores de sudoración producirán una deshidratación progresiva a lo largo del día.

La ingestión de líquidos para saciar la sed no es suficiente para mantener a una persona bien hidratada. La mayoría de las personas no sienten la necesidad de beber hasta que han perdido entre 1 y 2 l de agua corporal, y si están muy motivadas para realizar un trabajo pesado, pueden sufrir pérdidas de hasta 3 y 4 l antes de que una sed imperiosa les obligue a parar y beber. Paradójicamente, la deshidratación reduce la capacidad de absorción de agua en el intestino. Por consiguiente, los trabajadores expuestos al calor deben ser educados sobre la importancia de beber agua suficiente durante el trabajo y proseguir una rehidratación generosa al término de la jornada. Deben conocer también la importancia de la "prehidratación" (consumo de una gran cantidad de agua inmediatamente antes de la exposición a un gran estrés por calor) ya que el calor y el esfuerzo impiden que el organismo elimine el exceso de agua por la orina.

Las empresas deben facilitar el acceso a agua u otras bebidas adecuadas para fomentar la rehidratación. Cualquier obstáculo físico o práctico a la bebida fomentará una deshidratación "voluntaria" y aumentará el riesgo de sufrir un trastorno por

calor. Las siguientes recomendaciones deben ser un componente esencial de cualquier programa para el mantenimiento de la hidratación:

- Todos los trabajadores deben tener libre acceso a agua potable fresca o recibir agua una vez cada hora, o con más frecuencia si las condiciones imponen un estrés mayor.
- Se proporcionará a los trabajadores vasos limpios, ya que es casi imposible que una persona se rehidrate bebiendo directamente de un grifo de agua.
- Los recipientes de agua deben mantenerse a la sombra o en un lugar fresco a 15 o 20 °C (no se recomiendan las bebidas muy frías ya que tienden a inhibir la ingesta).

El agua puede mezclarse con aromatizantes para mejorar su aceptación. Ahora bien, no se recomiendan las bebidas con fama de "calmar" la sed, porque inhiben la ingesta antes de que se produzca una rehidratación completa. Por este motivo, es mejor ofrecer agua o bebidas aromatizadas diluidas y evitar las bebidas carbónicas, con cafeína o con altas concentraciones de azúcar o sal.

Nutrición. Aunque el sudor es hipotónico (menor contenido de sal) con respecto al suero sanguíneo, una sudoración profusa produce una pérdida continua de cloruro sódico y pequeñas cantidades de potasio que deben reponerse todos los días. Además, el trabajo en ambientes calurosos acelera el metabolismo de oligoelementos como el magnesio y el zinc. Todos estos elementos esenciales se obtienen normalmente a través de los alimentos, de ahí la importancia de insistir a los trabajadores en la necesidad de una dieta equilibrada y evitar el consumo excesivo de dulces y tentempiés, que carecen de componentes nutritivos importantes. Algunas dietas de los países industrializados contienen grandes cantidades de cloruro sódico y la probabilidad de que los trabajadores desarrollen déficits salinos es muy pequeña; pero otras dietas más tradicionales no contienen una cantidad suficiente de sal. En algunas condiciones, es posible que la empresa tenga que proporcionar alimentos salados o algunos suplementos dietéticos durante el turno de trabajo.

En los países industrializados ha aumentado la venta de "bebidas para deportistas" o "calmantes de la sed" que contienen cloruro sódico, potasio e hidratos de carbono. El componente esencial de cualquier bebida es el agua, pero las bebidas suplementadas con electrolitos pueden ser útiles para las personas que ya han sufrido una importante deshidratación (pérdida hídrica) combinada con depleción electrolítica (pérdida de sal). Suelen tener estas bebidas un elevado contenido de sal y deben mezclarse con volúmenes iguales o mayores de agua antes de su consumo. También puede prepararse una mezcla mucho más económica para la rehidratación oral según la siguiente receta: a un litro de agua potable se le añade 40 g de azúcar (sacarosa) y 6 g de sal (cloruro sódico). Los trabajadores no deben recibir comprimidos de sal, ya que podrían abusar de ellos y una sobredosis les causaría problemas gastrointestinales, aumento de la producción de orina y mayor riesgo de sufrir un trastorno por calor.

Modificación de las prácticas de trabajo

El objetivo común de la modificación de las prácticas de trabajo es reducir la exposición ponderada en el tiempo al estrés por calor hasta unos límites aceptables. Para ello, debe reducirse la carga de trabajo físico impuesta al trabajador o programar unos descansos adecuados para que pueda recuperarse térmicamente. En la práctica, la producción máxima de calor metabólico ponderada en el tiempo se limita a 350 W (5 kcal/min), ya que un trabajo más duro produce cansancio físico y exige largos períodos de descanso.

Los niveles de esfuerzo individual pueden reducirse limitando el trabajo externo, como la elevación de pesos, y reduciendo la tensión muscular motora y estática, como la asociada a una postura forzada. Son objetivos que pueden alcanzarse optimizando el diseño de las tareas de acuerdo con los principios ergonómicos, proporcionando ayudas mecánicas o dividiendo el esfuerzo físico entre un mayor número de trabajadores.

La forma más sencilla de modificar las prácticas de trabajo es permitir que cada persona trabaje a su propio ritmo. Los trabajadores que realizan una tarea con la que están familiarizados en un clima normal se regularán a sí mismos para trabajar a un ritmo que produzca una temperatura rectal de unos 38 °C. El estrés térmico hace que voluntariamente reduzcan el ritmo de trabajo o descansen cada cierto tiempo. Tal capacidad de adaptación voluntaria del ritmo de trabajo depende probablemente de la consciencia de fatiga y estrés cardiovascular. Los seres humanos no pueden detectar conscientemente las elevaciones en la temperatura corporal interna; por ello se basan en la temperatura y la humedad de la piel para evaluar el malestar térmico.

Otra alternativa para modificar las prácticas de trabajo consiste en imponer unos ciclos obligatorios de trabajo y descanso. La empresa especifica la duración de los períodos de trabajo, la duración de los períodos de descanso y el número de veces que este ciclo tiene que repetirse. La recuperación térmica requiere mucho más tiempo que el necesario para reducir la velocidad respiratoria y la frecuencia cardíaca aumentadas por el trabajo. La reducción de la temperatura interna a los mismos niveles que en reposo exige entre 30 y 40 minutos de descanso en un ambiente fresco y seco, o más tiempo si la persona debe descansar en un lugar caluroso o con las prendas protectoras puestas. Si la empresa necesita mantener un nivel constante de producción, tendrá que asignar varios equipos de trabajadores para que trabajen por turnos y puedan recuperarse, exigiendo dicha recuperación un descanso o la realización de tareas sedentarias en un lugar fresco.

Control climático

Si el coste no fuera un factor limitante, todos los problemas de estrés por calor se solucionarían mediante la aplicación de las técnicas de ingeniería para convertir los ambientes de trabajo hostiles en agradables. Existen multitud de técnicas que pueden utilizarse dependiendo de las condiciones específicas del lugar de trabajo y los recursos disponibles. Tradicionalmente, las industrias expuestas al calor pueden dividirse en dos categorías: procesos con calor seco y procesos con calor húmedo. Los procesos con calor seco, como la fundición de metales y la fabricación de vidrio, que exponen a los trabajadores a un aire muy caliente combinado con una intensa carga de calor radiante, pero que añaden poca humedad al ambiente. Por el contrario, las industrias expuestas a calor y humedad, como las fábricas textiles, las papeleras y la minería, exigen la exposición a un calor menos extremo, pero originan una elevada humedad ambiente como resultado de los procesos húmedos y el escape de vapor.

Las técnicas de control ambiental más económicas intentan reducir la transferencia de calor de la fuente al medio ambiente. El aire caliente puede extraerse al exterior de la zona de trabajo y sustituirse por aire fresco. Las superficies calientes pueden cubrirse con material aislante o revestimientos reflectantes que reduzcan la emisión de calor, al tiempo que conserven el calor necesario para el proceso industrial. Una segunda línea de defensa es la ventilación a gran escala del área de trabajo para crear un intenso influjo de aire exterior. La alternativa más costosa es el acondicionamiento del aire para enfriar y secar la atmósfera del lugar de trabajo. Aunque la reducción de la temperatura ambiente no afecta a la transmisión de calor radiante, ayuda a reducir la temperatura de las paredes y otras superficies

que pueden actuar como fuentes secundarias de calor convectivo y radiante.

Cuando el control ambiental general es imposible o poco económico, es posible que puedan mejorarse las condiciones térmicas en las áreas de trabajo locales. Pueden construirse cabinas con aire acondicionado en el interior de un espacio de trabajo más grande, o dirigir un flujo de aire fresco a un puesto de trabajo específico ("refrigeración local" o "ducha de aire"). Pueden interponerse pantallas reflectantes locales o incluso portátiles entre el trabajador y la fuente de calor radiante. Las técnicas de ingeniería moderna permiten controlar con sistemas remotos los procesos en caliente, de tal forma que los trabajadores no tengan que verse expuestos todos los días a unos ambientes calurosos altamente estresantes.

Cuando el lugar de trabajo se ventila con aire exterior o cuando la capacidad de acondicionamiento del aire es limitada, las condiciones térmicas reflejarán los cambios climáticos. Los aumentos bruscos de la temperatura y la humedad exteriores pueden aumentar el estrés por calor a niveles que superen la tolerancia al calor de los trabajadores. Por ejemplo, una ola de calor en primavera puede precipitar una epidemia de trastornos por calor entre los trabajadores que todavía no están tan aclimatados al calor como lo estarían en verano. En estos casos, las empresas deben instalar un sistema que permita predecir las variaciones en el estrés térmico como consecuencia de los cambios climáticos, de manera que puedan adoptarse precauciones a tiempo.

Prendas protectoras

Algunos trabajos en condiciones térmicas extremas exigen la protección térmica de los trabajadores con prendas especializadas. La protección pasiva se consigue con prendas aislantes y reflectoras; el aislamiento por sí sólo protege a la piel de las variaciones térmicas. Asimismo, pueden utilizarse delantales reflectores para proteger al personal que trabaja delante de una fuente radiante. Las brigadas contra incendios que enfrentarse a llamas con una temperatura extremadamente elevada utilizan trajes llamados "bunkers", que combinan un gran aislamiento contra el aire caliente y una superficie aluminizada que refleja el calor radiante.

Otra forma de protección pasiva es el traje de hielo, en cuyos bolsillos se introduce aguanieve o hielo (o hielo seco) y que se pone por encima de la ropa interior para evitar un enfriamiento molesto de la piel. El cambio de fase del hielo fundido absorbe parte de la carga de calor metabólico y ambiental de la superficie cubierta, pero el hielo debe sustituirse cada cierto tiempo; cuanto mayor sea la exposición al calor, mayor será la frecuencia con que tenga que cambiarse el hielo. Son trajes que resultan útiles para el trabajo en minas profundas, salas de calderas de los barcos y otros ambientes muy calurosos y húmedos con acceso a un congelador.

La protección térmica activa se consigue mediante trajes refrigerados con aire o líquido que cubren todo el cuerpo o una parte del mismo, normalmente el torso y en ocasiones la cabeza.

Refrigeración con aire. Los sistemas más sencillos se ventilan con el aire del ambiente circundante o con aire comprimido enfriado por expansión o durante su paso por un tubo vorticial. Tal refrigeración precisa unos grandes volúmenes de aire; la velocidad mínima de ventilación para un traje sellado es de unos 450 l/min. El enfriamiento del aire puede teóricamente producirse por convección (cambio de temperatura) o evaporación del sudor (cambio de fase). Con todo, la eficacia de la convección se ve limitada por el escaso calor específico del aire y la dificultad de suministrarlo a bajas temperaturas en un ambiente caluroso. La mayoría de los trajes refrigerados con aire actúan, por consiguiente, por enfriamiento evaporativo. El trabajador experimenta un estrés térmico moderado y deshidratación, pero es capaz de regular su temperatura mediante el control natural del

nivel de sudoración. El aire refrigerado aumenta también la sensación de bienestar por su tendencia a secar la ropa interior. Entre sus desventajas figuran: a) la necesidad de conectar a la persona a la fuente de aire, b) su excesivo volumen, y c) la dificultad de que el aire llegue a las extremidades.

Refrigeración con líquidos. Se basa en la circulación de una mezcla de agua y anticongelante a través de una red de canales o pequeños tubos, para luego devolver el líquido calentado a un disipador térmico, en donde se elimina el calor añadido durante su paso por el cuerpo. Las velocidades de circulación del líquido suelen ser del orden de 1 l/min. El disipador térmico libera energía térmica al ambiente por evaporación, fusión, refrigeración o proceso termoeléctricos. Los trajes refrigerados con líquidos ofrecen un potencial de refrigeración mucho mayor que los sistemas de aire. Si el traje cubre todo el cuerpo y está conectado a un disipador térmico adecuado, puede eliminar todo el calor metabólico y mantener el equilibrio térmico corporal sin necesidad de sudar; este tipo de sistema es el utilizado por los astronautas que trabajan en el exterior de sus naves. Por lo demás, un mecanismo de refrigeración tan potente como éste exige algún tipo de sistema de control de la temperatura, que suele consistir en el ajuste manual de una válvula que cierra la entrada de parte del líquido circulante una vez que ha pasado por el disipador térmico. Los sistemas de refrigeración con líquidos pueden diseñarse para colgarse a la espalda y proporcionar refrigeración continua durante el trabajo.

Cualquier dispositivo de refrigeración que añada peso y volumen al cuerpo humano puede, lógicamente, interferir con el trabajo. Por ejemplo, el peso de un traje de hielo aumenta considerablemente el coste metabólico de los movimientos y es, por tanto, más útil para trabajos físicos ligeros, como sería el caso de los trabajadores con labores exclusivas de vigilancia en un compartimento caluroso. Los sistemas que exigen conectar al trabajador a un disipador térmico pueden ser imposibles de utilizar en muchos tipos de trabajo. La refrigeración intermitente es útil cuando los trabajadores tienen que utilizar prendas protectoras pesadas (como los trajes protectores que se utilizan en la industria química) y no pueden transportar un disipador térmico ni conectarse al mismo mientras trabajan. La retirada del traje durante los períodos de descanso supone una pérdida de tiempo y conlleva el riesgo de exposición tóxica; en estas circunstancias, es más sencillo que los trabajadores utilicen un traje aclimatado que sólo se conecta al disipador térmico durante los períodos de descansos, permitiendo la recuperación térmica en unas condiciones de lo contrario insoportables.

● FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL TRABAJO EN CONDICIONES DE CALOR

Jacques Malchaire

Intercambios térmicos

El cuerpo humano intercambia calor con su entorno por distintas vías: conducción a través de las superficies en contacto con él, convección y evaporación con el aire del ambiente y radiación con las superficies vecinas.

Conducción

La conducción es la transmisión de calor entre dos sólidos que están en contacto. Los intercambios se producen entre la piel y la ropa, el calzado, los puntos de presión (asiento, asas), herramientas, etc. En la práctica, para el cálculo matemático del equilibrio térmico, el flujo de calor por conducción se estima indirectamente como una cantidad igual al flujo de calor por

convección y radiación que tendría lugar si esas superficies no estuvieran en contacto con otros materiales.

Convección

La convección consiste en la transferencia de calor entre la piel y el aire circundante. Si la temperatura de la piel, t_{sk} en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), es mayor que la temperatura del aire (t_a), el aire en contacto con la piel se calienta y, como consecuencia, se desplaza hacia arriba. Se establece así una circulación de aire, conocida como convección natural, en la superficie del cuerpo. El intercambio aumenta si el aire pasa sobre la piel a una cierta velocidad, ya que se fuerza la convección. El flujo de calor intercambiado por convección, C , en vatios por metro cuadrado (W/m^2) puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$C = h_c F_{clC} (t_{sk} - t_a)$$

donde h_c es el coeficiente de convección ($\text{W}/^{\circ}\text{C m}^2$), que es una función de la diferencia entre t_{sk} y t_a en el caso de la convección natural, y de la velocidad del aire V_a (en m/s) en la convección forzada; F_{clC} es el factor de reducción del intercambio de calor por convección debido a la ropa.

Radiación

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética cuya intensidad depende de su temperatura absoluta T (en grados Kelvin: K) elevada a la cuarta potencia. La piel, con una temperatura que puede oscilar entre 30 y 35 $^{\circ}\text{C}$ (303 y 308 K), emite este tipo de radiación en la zona infrarroja. Además recibe la radiación emitida por las superficies vecinas. El flujo térmico intercambiado por radiación, R (en W/m^2), entre el cuerpo y su entorno puede describirse con la siguiente expresión:

$$R = \epsilon \sigma \left(\frac{A_R}{A_D} \right) F_{clR} (T_{sk}^4 - T_r^4)$$

donde:

σ es la constante universal de radiación ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}^4$)
 ϵ es la emisividad de la piel que, para la radiación infrarroja, es igual a 0,97 e independiente de la longitud de onda, y para la radiación solar es aproximadamente igual a 0,5 en las personas de raza blanca y 0,85 en las personas de raza negra
 A_R/A_D es la fracción de la superficie corporal que participa en los intercambios, siendo del orden de 0,66, 0,70 o 0,77, dependiendo de si la persona está en cuclillas, sentada o de pie
 F_{clR} es el factor de reducción de los intercambios de calor por radiación debido a la ropa

T_{sk} (en K) es la temperatura media de la piel

T_r (en K) es la temperatura media radiante del ambiente; esto es, la temperatura uniforme de una esfera negra mate de gran diámetro que rodearía a la persona e intercambiaría con ella la misma cantidad de calor que con el entorno real.

La anterior expresión puede sustituirse por una ecuación simplificada similar a la de los intercambios por convección:

$$R = h_r (A_R/A_D) F_{clR} (t_{sk} - t_r)$$

donde h_r es el coeficiente de intercambio por radiación ($\text{W}/^{\circ}\text{C m}^2$).

Evaporación

Sobre todas las superficies húmedas existe una capa de aire saturado con vapor de agua. Si la atmósfera no está saturada, el vapor se difunde desde esta capa a la atmósfera. La capa tiende a regenerarse absorbiendo el calor de evaporación (0,674 vatios hora por gramo de agua) de la superficie húmeda, que se enfría. Si toda la piel está cubierta de sudor, la evaporación es máxima (E_{max}) y depende sólo de las condiciones ambientales, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_{max} = h_e F_{pcl} (P_{sk,s} - P_a)$$

donde:

- h_e es el coeficiente de intercambio por evaporación (W/m^2kPa)
- $P_{sk,s}$ es la presión saturada del vapor de agua a la temperatura de la piel (expresado en kPa)
- P_a es la presión parcial de vapor de agua en el ambiente (expresada en kPa)
- F_{pcl} es el factor de reducción del intercambio por evaporación debido a la ropa.

Aislamiento térmico de la ropa

En el cálculo del flujo de calor por convección, radiación y evaporación se aplica un factor de corrección para tener en cuenta la ropa utilizada. En el caso de prendas de algodón, los dos factores de reducción F_{clC} y F_{clR} pueden calcularse como:

$$F_{cl} = 1 / (1 + (h_c + h_r) I_{cl})$$

donde:

- h_c es el coeficiente de intercambio por convección
- h_r es el coeficiente de intercambio por radiación
- I_{cl} es el aislamiento térmico efectivo (m^2/W) de la ropa.

Con respecto a la reducción de la transferencia de calor por evaporación, el factor de corrección F_{pcl} viene dado por la siguiente expresión:

$$F_{pcl} = 1 / (1 + 2,22 h_c I_{cl})$$

El aislamiento térmico de las prendas de vestir I_{cl} se expresa en m^2/W o en clo. Un aislamiento de 1 clo corresponde a 0,155 m^2/W y se consigue, por ejemplo, con un traje de calle normal (camisa, corbata, pantalones, chaqueta, etc.).

En la norma ISO 9920 (1994) se indica el aislamiento térmico proporcionado por diferentes combinaciones de prendas. En el caso de prendas protectoras especiales que reflejan el calor o limitan la permeabilidad al vapor en condiciones de calor, o absorben y aíslan en condiciones de estrés por calor, deben aplicarse factores de corrección individuales. En cualquier caso, hasta la fecha el problema sigue sin comprenderse bien y las predicciones matemáticas son muy aproximadas.

Evaluación de los parámetros básicos del ambiente de trabajo

Como ya se ha visto, los intercambios térmicos por convección, radiación y evaporación dependen de cuatro parámetros climáticos: la temperatura del aire t_a en °C, la humedad del aire expresada por su presión parcial de vapor P_a en kPa, la temperatura radiante media t_r en °C, y la velocidad del aire V_a en m/s. Los instrumentos y métodos utilizados para medir estos parámetros físicos del medio ambiente están sujetos a la norma ISO 7726 (1985), en la que se describen los diferentes tipos de sensores que deben utilizarse, se especifican sus rangos de medición y su exactitud, y se recomiendan algunos procedimientos de medición. En la presente sección se resume parte del contenido de esa norma, con especial referencia a la condiciones de uso de los instrumentos y aparatos más comunes.

Temperatura del aire

La temperatura del aire (t_a) tiene que medirse con independencia de cualquier radiación térmica y con una exactitud de $\pm 0,2$ °C entre 10 y 30 °C, y de $\pm 0,5$ °C fuera de ese rango.

Existen muchos tipos de termómetros, aunque los de mercurio son los más comunes. Su ventaja está en la exactitud, siempre que se hayan calibrado correctamente en un principio, y como principales desventajas, su largo tiempo de respuesta y la imposibilidad de realizar registros automáticos. Los termómetros electrónicos, por su parte, tienen generalmente un tiempo de respuesta muy corto (entre 5 s y 1 min), pero su calibración plantea numerosos problemas.

Cualquiera que sea el tipo de termómetro utilizado, su sensor debe protegerse contra la radiación. Por lo común, no hay más que rodear el sensor con un cilindro hueco de aluminio brillante. Tal protección está asegurada en el psicrómetro que se describe en la siguiente sección.

Presión parcial del vapor de agua

La humedad del aire puede caracterizarse de cuatro formas:

1. la *temperatura del punto de rocío*: temperatura a la que debe enfriarse el aire para saturarse de humedad (t_d , °C);
2. la *presión parcial de vapor de agua*: fracción de la presión del aire debida al vapor de agua (P_a , kPa);
3. la *humedad relativa (HR)*, que viene dada por la expresión:

$$HR = 100 \cdot P_a / P_{S,ta}$$

donde $P_{S,ta}$ es la presión del vapor saturado asociada a la temperatura del aire,

4. la *temperatura de bulbo húmedo* (t_w), que es la temperatura mínima que alcanza un bulbo rodeado de una mecha húmeda protegido contra la radiación y ventilado a más de 2 m/s por el aire ambiental.

Todos estos valores están matemáticamente relacionados.

La presión de saturación del vapor de agua $P_{S,t}$ a cualquier temperatura t viene dada por:

$$P_{S,t} = 0,6105 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot t}{t + 237,3}\right)}$$

mientras que la presión parcial del vapor de agua está relacionada con la temperatura por la expresión:

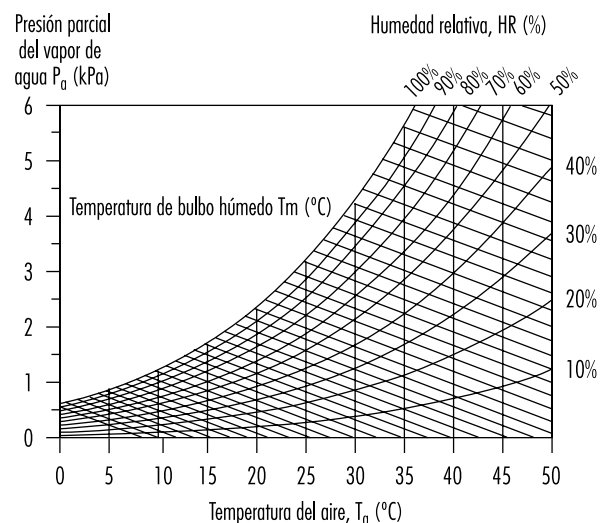
$$P_a = P_{S,tw} - (t_a - t_w) / 15$$

donde $P_{S,tw}$ es la presión de vapor saturado a la temperatura del bulbo húmedo.

El diagrama psicrométrico (Figura 42.3) permite combinar todos estos valores. En este diagrama se representa:

- en el eje de las y , la escala de la presión parcial del vapor de agua P_a , expresada en kPa;
- en el eje de las x , la escala de la temperatura del aire;
- las curvas de la humedad relativa constante,
- las líneas rectas oblicuas de la temperatura constante de bulbo húmedo.

Figura 42.3 • Diagrama psicrométrico.



Los parámetros de la humedad utilizados con más frecuencia en la práctica son:

- la humedad relativa, medida con higrómetros y aparatos electrónicos más sofisticados,
- la temperatura del bulbo húmedo, medida con el psicrómetro; de ahí se deriva la presión parcial del vapor de agua, que es el parámetro más utilizado en el análisis del equilibrio térmico

El rango de medición y la exactitud recomendada son de 0,5 a 6 kPa y $\pm 0,15$ kPa. Para la medición de la temperatura de bulbo húmedo, el rango se extiende de 0 a 36 °C, con una exactitud idéntica a la de la temperatura del aire. Con respecto a los higrómetros utilizados para medir la humedad relativa, el rango se extiende de 0 a 100 %, con una exactitud de ± 5 %.

Temperatura radiante media

La temperatura radiante media (t_r), según se ha definido antes, puede estimarse de tres formas diferentes:

1. a partir de la temperatura medida por el termómetro de esfera negra;
2. a partir de las temperaturas radiantes medidas a lo largo de tres ejes perpendiculares,
3. por cálculo, integrando los efectos de las diferentes fuentes de radiación.

Aquí se describirá sólo la primera de estas técnicas.

El termómetro de esfera negra consiste en una sonda térmica, cuyo elemento sensible está situado en el centro de una esfera completamente cerrada, fabricada con un metal que sea un buen conductor del calor (cobre) y pintada de negro mate para que su coeficiente de absorción en la zona infrarroja se aproxime a 1,0. La esfera se coloca en el lugar de trabajo y se somete a intercambios por convección y radiación. La temperatura del globo (t_g) depende así de la temperatura radiante media, la temperatura del aire y la velocidad del aire.

Para un globo negro estándar de 15 cm de diámetro, la temperatura media de radiación puede calcularse a partir de la temperatura del globo utilizando la siguiente ecuación:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_a^{0,6} (t_g - t_a)} - 273$$

En la práctica, es muy importante que la emisividad del globo se mantenga próxima a 1,0 volviéndola a pintar de negro mate siempre que sea necesario.

La principal limitación de este tipo de globo es su largo tiempo de respuesta (del orden de 20 a 30 minutos, dependiendo del tipo de globo utilizado y de las condiciones ambientales). La medición es válida sólo si las condiciones de la radiación se mantienen constantes durante ese período de tiempo, y eso no siempre es posible en los entornos industriales, en cuyo caso la medición no será exacta. Los anteriores tiempos de respuesta corresponden a globos de 15 cm de diámetro con termómetros de mercurio convencionales. Pueden acortarse utilizando sensores de menor capacidad térmica o reduciendo el diámetro del globo, en cuyo caso la ecuación anterior deberá modificarse para tener en cuenta esta diferencia en el diámetro.

Para el cálculo del índice WBGT se utiliza directamente la temperatura del globo negro. Es por tanto esencial utilizar un globo de 15 cm de diámetro. No obstante, pueden utilizarse otros índices basados en la temperatura radiante media, en cuyo caso podrá utilizarse un globo de menor tamaño para reducir el tiempo de respuesta, siempre que se modifique la anterior ecuación para tener este hecho en cuenta. La norma ISO 7726 (1985) permite una exactitud de ± 2 °C en la medición de t_r entre 10 y 40 °C, y ± 5 °C fuera de ese rango.

Velocidad del aire

La velocidad del aire debe medirse sin tener en cuenta la dirección del flujo de aire. De lo contrario, la medición tendrá que realizarse en tres ejes perpendiculares (x , y y z) y calcular la velocidad global por la suma de vectores:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

El rango de medida recomendado por la norma ISO 7726 se extiende de 0,05 a 2 m/s. La exactitud exigida es del 5 %. Debe medirse como el valor medio de 1 o 3 minutos.

Existen dos tipos de instrumentos para medir la velocidad del aire: los anemómetros de aspas giratorias y los termoanemómetros.

Anemómetros de aspas giratorias

La medición se realiza contando el número de vueltas de las aspas durante un cierto período de tiempo. De esta forma, se obtiene la velocidad media del aire durante ese período de tiempo de una manera discontinua. Los anemómetros presentan dos principales desventajas:

1. Son muy sensibles a la dirección del aire y tienen que orientarse estrictamente en la dirección del flujo de aire. Cuando la dirección del aire varía o se desconoce, tienen que realizarse mediciones en tres direcciones perpendiculares.
2. El rango de medición se extiende de unos 0,3 m/s a 10 m/s. Las limitaciones de este instrumento con velocidades de aire bajas tienen importancia cuando, por ejemplo, se trata de analizar una situación de estrés térmico en la que no debe superarse una velocidad de 0,25 m/s. Aunque el rango de medición puede ampliarse más allá de 10 m/s, rara vez es inferior a 0,3 o incluso a 0,5 m/s, lo que limita en gran medida las posibilidades de utilización de este aparato en ambientes próximos al bienestar, en donde las velocidades máximas permitidas son de 0,5 o incluso de 0,25 m/s.

Anemómetros de hilo caliente

Son instrumentos complementarios a los anemómetros de aspas giratorias, ya que su rango dinámico se extiende básicamente de 0 a 1 m/s. Proporcionan una estimación instantánea de la velocidad en un punto del espacio; por consiguiente, es necesario utilizar valores medios en el tiempo y en el espacio. Son instrumentos muy sensibles también a la dirección del aire, de manera que los anteriores comentarios sirvan igual en este caso. Finalmente, la medición es sólo correcta desde el momento en que la temperatura del instrumento alcanza la del ambiente que tiene que medirse.

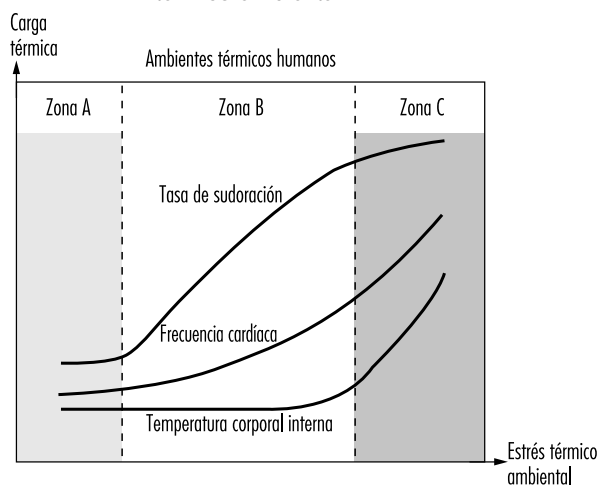
EVALUACION DEL ESTRES POR CALOR ● E INDICES DE ESTRES POR CALOR

Kenneth C. Parsons

El estrés por calor se produce cuando el entorno de una persona (temperatura del aire, temperatura radiante, humedad y velocidad del aire), su ropa y su actividad interactúan para producir una tendencia a que la temperatura corporal aumente. El sistema de regulación térmica del organismo responde para aumentar la pérdida de calor. Tal respuesta puede ser poderosa y eficaz, pero puede también producir un estrés en el organismo que origine molestias, enfermedades o incluso la muerte. Por tanto, es importante evaluar los ambientes calurosos para garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores.

Los índices de estrés por calor proporcionan herramientas para evaluar ambientes calurosos y estimar el estrés térmico al

Figura 42.4 • Variación de tres medidas de la carga térmica con niveles crecientes de estrés térmico ambiental.



La variación de las tres medidas de la carga térmica con niveles crecientes de estrés térmico ambiental. En la zona B, la zona prescriptiva (ZP), la temperatura corporal interna se mantiene constante gracias a un aumento de la tasa de sudoración. En la zona C, la zona de urgencia ambiental (ZUA), la tasa de sudoración ya no puede aumentar más y la temperatura corporal se eleva. La transición se denomina límite superior de la zona prescriptiva (LSZP).

Fuente: OMS 1969.

que pueden verse expuestos los trabajadores. Los valores límite basados en los índices de estrés por calor indicarán cuando este estrés puede llegar a ser inaceptable.

En general, los mecanismos del estrés por calor se conocen bien y las prácticas de trabajo para ambientes cálidos están bien establecidas. Entre ellas se incluyen: conocimiento de los signos de advertencia de estrés por calor, programas de aclimatación y rehidratación. No obstante, el gran número de accidentes que siguen produciéndose sugiere la necesidad de repasar estos conocimientos.

En 1964, Leithead y Lind realizaron una gran encuesta y concluyeron que los trastornos por calor se producen por una o más de las razones siguientes:

1. la existencia de factores como deshidratación o falta de aclimatación;
2. apreciación inadecuada de los peligros del calor, ya sea por parte de las autoridades supervisoras o por las personas en situación de riesgo,
3. circunstancias accidentales o imprevistas que causan la exposición a un gran estrés por calor.

Los autores concluyeron que muchas de las muertes podían atribuirse a negligencia o falta de consideración y que cuando llegan a producirse trastornos, es muy importante disponer de todo lo necesario para administrar un tratamiento correcto y rápido.

Índices de estrés por calor

Un índice de estrés por calor es un único número que integra los efectos de seis parámetros básicos en cualquier ambiente térmico al que puede verse expuesto un ser humano, de tal manera que su valor varía dependiendo del estrés térmico experimentado por la persona expuesta a un ambiente caluroso. El valor del índice (medido o calculado) puede utilizarse para diseñar puestos de trabajo o prácticas de trabajo y establecer unos límites de

seguridad. Se han realizado numerosas investigaciones para determinar el índice definitivo de estrés por calor y no existe acuerdo sobre cuál es el mejor de todos ellos. Por ejemplo, Goldman (1988) presenta 32 índices de estrés por calor y es probable que en todo el mundo se utilicen como mínimo el doble de ese número. Muchos índices no consideran los seis parámetros básicos, aunque todos ellos tienen que tenerlos en cuenta a la hora de su aplicación.

La utilización de uno u otro índice dependerá de cada contexto y de ahí que existan tantos índices diferentes. Algunos índices son teóricamente inadecuados, aunque su uso puede estar justificado para aplicaciones específicas por la experiencia de una industria en particular.

Según Kerlake (1972), "Es evidente que la manera de combinar los factores ambientales tiene que depender de las propiedades de la persona expuesta a ellos, pero ninguno de los índices de estrés por calor que se utilizan en la actualidad tienen esto en cuenta". La reciente tendencia a la normalización [p. ej., ISO 7933 (1989b) e ISO 7243 (1989a)] ha creado presiones para que se adopten índices similares en todo el mundo. No obstante, será necesario adquirir experiencia con el uso de cualquier nuevo índice.

La mayoría de los índices de estrés por calor consideran, ya sea directa o indirectamente, que el principal factor de estrés para el organismo es el relacionado con la sudoración. Por ejemplo, cuanto más sudor tenga que perderse para mantener el equilibrio térmico y la temperatura corporal interna, mayor será el estrés impuesto al organismo. Para que un índice del estrés por calor refleje el ambiente térmico humano y sirva para predecir el estrés por calor, se precisa un mecanismo que estime la capacidad de una persona para, a través de la sudoración, perder calor en un ambiente caluroso.

Los índices basados en la evaporación del sudor al ambiente son útiles cuando las personas mantienen la temperatura corporal interna principalmente a través de la sudoración. En general, se dice que estas condiciones están en la *zona prescriptiva* (OMS 1969). Así, la temperatura corporal interna permanece relativamente constante, mientras que la frecuencia cardíaca y el nivel de sudoración aumentan con el estrés por calor. En el límite superior de la zona prescriptiva (LSZP), la regulación térmica es insuficiente para mantener el equilibrio térmico y la temperatura corporal aumenta. Se denomina *zona de urgencia ambiental* (OMS 1969). En esta zona, el almacenamiento de calor está relacionado con la temperatura corporal interna y puede utilizarse como un índice para determinar los tiempos de exposición permisibles (p. ej., basados en un límite de seguridad establecido para mantener una temperatura "interior" de 38 °C; véase la Figura 42.4).

Los índices de estrés por calor pueden clasificarse como *racionales*, *empíricos* o *directos*. Los índices racionales se basan en cálculos para los que se utiliza la ecuación del equilibrio térmico; los índices empíricos se basan en el uso de ecuaciones obtenidas a partir de las respuestas fisiológicas de los seres humanos (p. ej., pérdida de sudor); y los índices directos se basan en la medición (normalmente de la temperatura) de instrumentos utilizados para simular la respuesta del cuerpo humano. A continuación se describen los índices más importantes y más utilizados.

Índices racionales

Índice de Estrés por Calor (Heat Stress Index, HSI)

El Índice de Estrés por Calor es la proporción entre la evaporación necesaria para mantener el equilibrio térmico (E_{req}) y la evaporación máxima que podría conseguirse en ese ambiente (E_{max}), expresada como porcentaje (Belding y Hatch 1955). En la Tabla 42.2 se indican las ecuaciones utilizadas.

Tabla 42.2 • Ecuaciones utilizadas para calcular el índice de estrés por calor (HSI) y los tiempos de exposición permisibles (AET).

		Con ropa	Sin ropa
(1) Pérdida por radiación (R)	$R = k_1(35 - t_r) \text{ Wm}^{-2}$	para $k_1 = 4,4$	7,3
(2) Pérdida por convección (C)	$C = k_2 \cdot v^{0,6}(35 - t_a) \text{ Wm}^{-2}$	para $k_2 = 4,6$	7,6
(3) Pérdida máxima por evaporación (E_{\max})	$E_{\max} = k_3 \cdot v^{0,6}(56 - P_a) \text{ Wm}^{-2}$ (límite superior de 390 Wm^{-2})	para $k_3 = 7,0$	11,7
(4) Pérdida requerida por evaporación (E_{req})	$E_{\text{req}} = M - R - C$		
(5) Índice de estrés por calor (HSI)	$HSI = \frac{(E_{\text{req}})}{(E_{\max})} \times 100$		
(6) Tiempo de exposición permisible (AET)	$AET = \frac{2440}{(E_{\text{req}} - E_{\max})} \text{ mins}$		

donde: M = calor metabólico; t_a = temperatura del aire; t_r = temperatura radiante; P_a = presión parcial del vapor; v = velocidad del aire.

El HSI está pues relacionado con el estrés, fundamentalmente en términos de sudoración corporal, para valores de entre 0 y 100. Con un $HSI = 100$, la evaporación necesaria es la máxima posible y representa el límite superior de la zona prescriptiva. Con un $HSI > 100$, se almacena calor en el organismo y los tiempos de exposición permisibles se calculan en función de un aumento de $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$ de la temperatura interna del organismo (calor almacenado de 264 kJ). Con un $HSI < 0$ existe un ligero estrés por calor; por ejemplo, cuando los trabajadores se están recuperando de la exposición al calor (véase la Tabla 42.3).

Se asigna un límite superior de 390 W/m^2 a E_{\max} (sudoración de 1 l/h como la máxima tasa de sudoración mantenida durante 8 horas), se hacen supuestos sencillos sobre los efectos de la ropa (camisa de manga larga y pantalones) y se supone que la temperatura cutánea se mantiene constante a $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Índice de Estrés Térmico (Index of Thermal Stress, ITS)

Givoni (1963, 1976) propuso el Índice de Estrés Térmico, que es una versión mejorada del Índice de Estrés por Calor. Una mejora importante es que se reconoce que no todo el sudor se evapora

(véase "I. Índice de estrés térmico" en el recuadro *Índices de calor* de la página 42.22.)

Tasa de sudoración requerida

Otra mejora teórica y práctica incorporada al HSI y al ITS fue la tasa de sudoración requerida (*required sweat rate, SW_{req}*) (Vogt y cols. 1981). Es un índice que calcula la sudoración necesaria para conseguir el equilibrio térmico a partir de una ecuación perfeccionada del equilibrio térmico, pero lo más importante es que constituye un método práctico para interpretar los cálculos comparando lo que se necesita con lo que es fisiológicamente posible y aceptable en el ser humano.

Los extensos debates y las evaluaciones industriales y de laboratorio (CEC 1988) de este índice tuvieron como resultado su aceptación como Norma Internacional ISO 7933 (1989b). Las diferencias entre las respuestas observadas y esperadas de los trabajadores motivaron la inclusión de notas de advertencia con relación a los métodos de evaluación de la deshidratación y la transferencia de calor por evaporación a través de la ropa en la propuesta de su adopción como Norma Europea (prEN-12515). (Véase "II. Tasa de sudoración requerida" en el recuadro *Índices de calor*.)

Interpretación de SW_{req}

Para realizar una interpretación práctica de los valores calculados, se utilizan valores de referencia en términos de lo que es aceptable y factible (véase la Tabla 42.4).

En primer lugar se realiza una predicción de la humedad de la piel (W_p), la tasa de evaporación (E_p) y la tasa de sudoración (SW_p). Básicamente, si los valores calculados como necesarios son factibles, se consideran valores previstos (p. ej., $SW_p = SW_{\text{req}}$). Si no son factibles, pueden tomarse como valores máximos (p. ej., $SW_p = SW_{\text{max}}$). En el diagrama de flujos de decisión se ofrecen más detalles (véase la Figura 42.5).

Si la tasa de sudoración requerida puede conseguirse sin que se produzca una pérdida inadmisibles de agua, no existe ningún límite en la exposición al calor durante un turno de trabajo de 8 horas. De lo contrario, se calculan las exposiciones de duración limitada (EDL) a partir de:

Cuando $E_p = E_{\text{req}}$ y $SW_p = D_{\text{max}}/8$, entonces $EDL = 480$ minutos y SW_{req} puede utilizarse como índice de estrés por calor. Si lo anterior no se cumple, entonces:

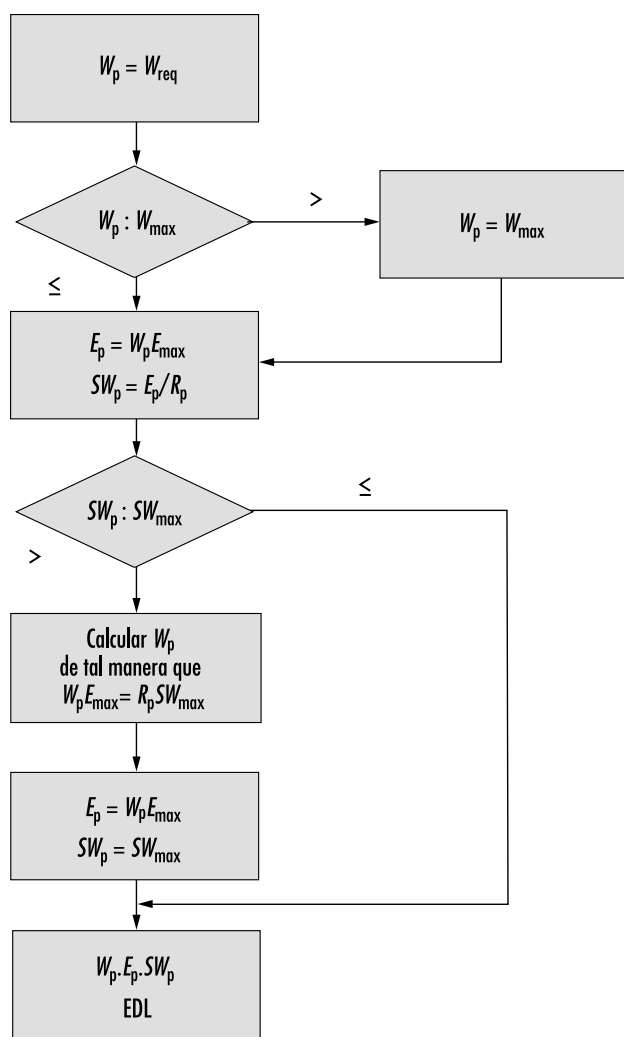
$$EDL 1 = 60 Q_{\text{max}} / (E_{\text{req}} - E_p)$$

$$EDL 2 = 60 D_{\text{max}} / SW_p$$

Tabla 42.3 • Interpretación de los valores del índice de estrés por calor (HSI).

HSI	Efecto de la exposición durante ocho horas
-20	Estrés por calor leve (p. ej., durante el periodo de recuperación de la exposición al calor).
0	No se produce estrés térmico
10-30	Estrés por calor leve o moderado. Ligero efecto en el trabajo físico, pero posible efecto en el trabajo cualificado
40-60	Estrés por calor intenso, que supone un riesgo para la salud a no ser que la persona esté en muy buena forma física. Necesidad de aclimatación
70-90	Estrés por calor muy intenso. El personal debe ser seleccionado mediante un examen médico. Asegurar un consumo adecuado de agua y sal
100	Estrés máximo tolerado diariamente por hombres jóvenes en buena forma física y aclimatados
Más de 100	Tiempo de exposición limitado por el aumento de la temperatura corporal interna

Figura 42.5 • Diagrama de flujos de decisión para SW_p (tasa de sudoración requerida).



EDL es el menor de EDL 1 y EDL 2. En ISO 7933 (1985) se facilitan más detalles (1989b) al respecto.

Otros índices racionales

El índice SW_{req} y la norma ISO 7933 (1989) constituyen el método racional más sofisticado basado en la ecuación del equilibrio térmico y han supuesto un gran avance. Aunque puede mejorarse aún más, hay otro método alternativo que consiste en utilizar un modelo térmico. La nueva Temperatura Efectiva (TE*) y la Temperatura Efectiva Estándar (TEE) son índices basados en el modelo binodal de la regulación térmica en el ser humano (Nishi y Gagge 1977). Givoni y Goldman (1972, 1973) han propuesto también otros modelos empíricos de predicción para evaluar el estrés por calor.

Índices empíricos

Temperatura efectiva y temperatura efectiva corregida

El índice de Temperatura Efectiva (Houghton y Yaglou 1923) se creó inicialmente para proporcionar un método de determinación de los efectos relativos de la temperatura del aire y la

humedad en la sensación de bienestar. Tres personas juzgaron cuál de dos cámaras climatizadas era más cálida caminando por ellas. Utilizando diferentes combinaciones de temperatura y humedad del aire (y después otros parámetros), se determinaron las líneas de bienestar equivalente. Las tres personas describieron sus impresiones inmediatas y se registraron sus respuestas transitorias. El resultado fue que se sobrestimó el efecto de la humedad a temperaturas bajas y se subestimó a temperaturas altas (en comparación con las respuestas en estado estable). Aunque en un principio era un índice de bienestar, la sustitución de la temperatura de bulbo seco por la temperatura del globo negro en los nomogramas de la TE proporcionó la Temperatura Efectiva Corregida (TEC) (Bedford 1940). Los estudios publicados por Macpherson (1960) sugirieron que la TEC predecía los efectos fisiológicos de un aumento de la temperatura radiante media. En la actualidad, la TE y la TEC se utilizan rara vez como índices del bienestar, aunque se han utilizado como índices del estrés por calor. Bedford (1940) propuso la TEC como un índice de calor, con límites superiores de 34 °C para una "eficiencia razonable" y de 38,6 °C para la tolerancia. Ahora bien, otras investigaciones han demostrado que la TE presenta importantes desventajas cuando se utiliza como índice del estrés por calor, razón por la cual se empezó a utilizar el índice de la tasa de sudoración prevista durante cuatro horas (TSP4).

Tasa de sudoración prevista durante cuatro horas

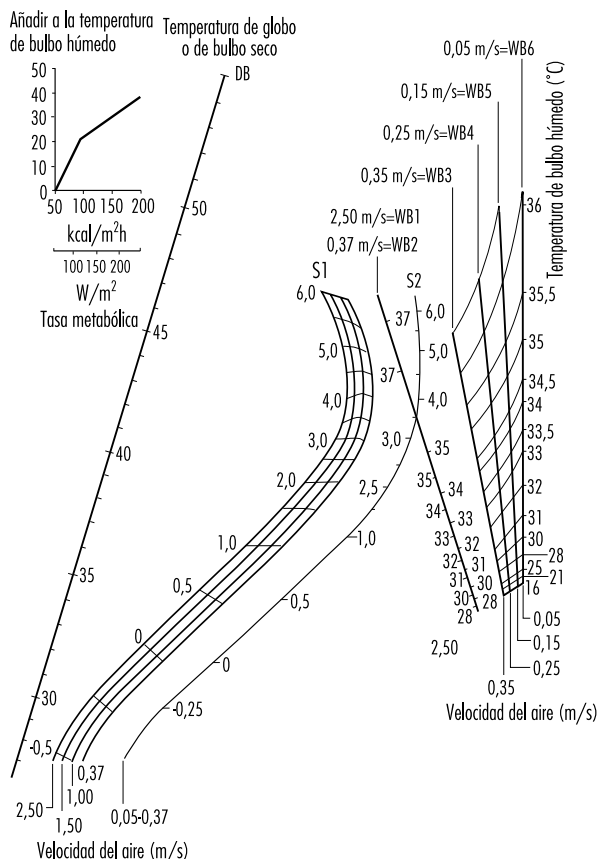
El índice de la tasa de sudoración prevista durante cuatro horas (TSP4) fue propuesto en Londres por McArdle y cols. (1947) y evaluado en Singapur durante 7 años de trabajo resumido por Macpherson (1960). Es la cantidad de sudor secretado por hombres jóvenes aclimatados y en buena forma física expuestos al ambiente durante 4 horas mientras cargan munición en cañones durante una batalla naval. El número (valor de índice) que por sí sólo resume el efecto de los seis parámetros básicos es la cantidad de sudor producido por esa población específica, pero debe utilizarse como un valor de índice y no como una indicación de la cantidad de sudor en un determinado grupo de interés.

Con todo, fuera de la zona prescriptiva (p. ej., TSP4 > 5 l), la tasa de sudoración no parecía ser un buen indicador del estrés.

Tabla 42.4 • Valores de referencia para los criterios de estrés y carga térmica (ISO 7933, 1989b).

Criterio	Personas no aclimatadas		Personas aclimatadas	
	Alarma	Peligro	Alarma	Peligro
Humedad máxima de la piel				
w_{max}	0,85	0,85	1,0	1,0
Tasa de sudoración máxima				
Reposo ($M < 65 \text{ Wm}^{-2}$) SW_{max} $\text{Wm}^{-2} \text{ gh}^{-1}$	100	150	200	300
	260	390	520	780
Trabajo ($M \geq 65 \text{ Wm}^{-2}$) SW_{max} $\text{Wm}^{-2} \text{ gh}^{-1}$	200	250	300	400
	520	650	780	1.040
Acumulación máxima de calor				
Q_{max} Whm^{-2}	50	60	50	60
Pérdida hídrica máxima				
D_{max} $\text{Whm}^{-2} \text{ g}$	1.000	1.250	1.500	2.000
	2.600	3.250	3.900	5.200

Figura 42.6 • Nomograma para la predicción de la "tasa de sudoración prevista durante 4 horas" (TSP4).



El nomograma se describe en el recuadro de la página 42.22 en "III. Tasa de sudoración prevista durante 4 horas".

Los nomogramas de TSP4 (Figura 42.6) se ajustaron para intentar tener en cuenta este hecho. La TSP4 parece haber sido útil en las condiciones para las que se derivó; sin embargo, los efectos de la ropa se simplifican en exceso y es más útil como índice del calor almacenado. McArdle y cols. (1947) propusieron una TSP4 máxima de 4,5 l para que no se produjese la incapacidad de ningún hombre joven aclimatado y en buena forma física.

Predicción de la frecuencia cardíaca como índice

Fuller y Brouha (1966) propusieron un índice sencillo basado en la predicción de la frecuencia cardíaca (*heart rate*, HR) en latidos por minuto. La relación, tal como fue formulada con la tasa metabólica en BTU/h y la presión parcial de vapor en mmHg permitía realizar una predicción sencilla de la frecuencia cardíaca a partir de ($T + p$), de ahí el índice $T + p$.

Givoni y Goldman (1973) propusieron también ecuaciones para la variación de la frecuencia cardíaca con el tiempo y correcciones para tener en cuenta el grado de aclimatación de las personas, según se indica en el recuadro de la página 42.22 con el título "IV. Frecuencia cardíaca".

NIOSH (1986) describe un método para predecir la frecuencia cardíaca durante el trabajo y la recuperación (obtenido de

Tabla 42.5 • Modelo de evaluación del estrés por calor basado en la frecuencia cardíaca.

Frecuencia cardíaca total	Nivel de actividad
HR_0	Reposo (neutralidad térmica)
$HR_0 + HR_M$	Trabajo
$HR_0 + HR_S$	Esfuerzo estático
$HR_0 + HR_I$	Estrés térmico
$HR_0 + HR_N$	Emoción (psicológica)
$HR_0 + HR_e$	Residual

Basado en Vogt y cols. (1981) e ISO 9886 (1992).

Brouha 1960 y Fuller y Smith 1980, 1981). La temperatura corporal y la frecuencia cardíaca se miden durante el período de recuperación después de un ciclo de trabajo o en determinados momentos durante la jornada de trabajo. Al final de un ciclo de trabajo, el trabajador se sienta en un taburete, se le toma la temperatura oral y se registran las siguientes tres frecuencias de pulso:

- P_1 : frecuencia de pulso medida entre 30 segundos y 1 minuto
- P_2 : frecuencia de pulso medida entre 1,5 y 2 minutos
- P_3 : frecuencia de pulso medida entre 2,5 y 3 minutos

El principal criterio de estrés por calor es una temperatura oral de 37,5 °C.

Si $P_3 \leq 90$ lpm y $P_3 - P_1 = 10$ lpm, indica una carga de trabajo grande, aunque con sólo un pequeño aumento de la temperatura corporal. Si $P_3 > 90$ lpm y $P_3 - P_1 < 10$ lpm, el estrés (calor + trabajo) es demasiado grande y se deben adoptar medidas para diseñar el trabajo.

Vogt y cols. (1981) e ISO 9886 (1992) propusieron un modelo (Tabla 42.5) que utiliza la frecuencia cardíaca para evaluar las condiciones térmicas:

El componente de carga térmica (posible índice de estrés por calor) puede calcularse a partir de:

$$HR_t = HR_r - HR_0$$

Tabla 42.6 • Valores de referencia del WBGT obtenidos de ISO 7243 (1989a).

Tasa metabólica M (Wm ⁻²)	Valor de referencia de WBGT			
	Persona aclimatada al calor (°C)		Persona no aclimatada al calor (°C)	
0. Reposo $M \leq 65$	33		32	
1. $65 < M \leq 130$	30		29	
2. $130 < M \leq 200$	28		26	
	Sin movimiento apreciable del aire	Con movimiento apreciable del aire	Sin movimiento apreciable del aire	Con movimiento apreciable del aire
3. $200 < M < 260$	25	26	22	23
4. $M > 260$	23	25	18	20

Nota: son valores estimados para una temperatura rectal máxima de 38 °C.

Indices de calor: fórmulas y definiciones

I. Índice de estrés térmico (ITS)

La ecuación del equilibrio térmico perfeccionada es:

$$E_{req} = H - (C + R) - R_s$$

donde E_{req} es la evaporación necesaria para mantener el equilibrio térmico, R_s es la carga solar y H es la producción de calor metabólico, que se utiliza en lugar de la tasa metabólica para tener en cuenta el trabajo externo. Una importante mejora introducida en esta nueva ecuación es el reconocimiento de que no todo el sudor se evapora (p. ej., una parte gotea), de manera que la tasa de sudoración requerida está relacionada con la tasa de evaporación según la expresión:

$$SW = E_{req} / nsc$$

donde nsc es la eficiencia de la sudoración.

Para ambientes interiores, la transferencia de calor se calcula a partir de:

$$R + C = a v^{0,3} (35 - T_g)$$

Para ambientes exteriores con carga solar, T_g se sustituye por T_a y se tiene en cuenta la carga solar (R_s):

$$R_s = E_s K_{pe} K_{cl} (1 - a(v^{0,2} - 0,88))$$

Estas ecuaciones se han obtenido a partir de datos experimentales y no son estrictamente racionales.

La pérdida máxima de calor por evaporación es:

$$E_{max} = K_p v^{0,3} (56 - P_a)$$

la eficiencia de la sudoración viene dada por:

$$nsc = \exp\{-0,6[(E_{req}/E_{max}) - 0,12]\}$$

pero

$$nsc = 1 \text{ si } E_{req}/E_{max} < 0,12$$

y

$$nsc = 0,29 \text{ si } E_{req}/E_{max} > 2,15$$

El índice de estrés térmico (ITS) en g/h viene dado por:

$$ITS = (H - (R + C) - R_s) / (0,37 nsc)$$

donde $(H - (R + C) - R_s)$ es la tasa de evaporación requerida E_{req} , 0,37 convierte W/m^2 en g/h y nsc es la eficiencia de la sudoración (McIntyre 1980).

II. Tasa de sudoración requerida

Al igual que los otros índices racionales, SW_{req} se deriva de los seis parámetros básicos: temperatura del aire (T_a), temperatura radiante (T_r), velocidad del aire con esa humedad relativa (v), aislamiento de la ropa (I_{cl}), tasa metabólica (M) y trabajo externo (W). Son necesarios también los valores de la superficie efectiva de radiación para distintas posturas (sentado = 0,72, de pie = 0,77). A partir de estos valores, la evaporación necesaria se calcula como:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R$$

Existen ecuaciones para cada componente (véanse las Tablas 42.10 y 42.9). La temperatura cutánea media se calcula a partir de una ecuación de regresión lineal múltiple o se supone un valor de 36 °C.

A partir de la evaporación requerida (E_{req}), la evaporación máxima (E_{max}) y la eficiencia de la sudoración (r), se calcula lo siguiente:

$$\text{Humedad cutánea requerida } W_{req} = E_{req} / E_{max}$$

$$\text{Tasa de sudoración requerida } SW_{req} = E_{req} / r$$

III. Tasa de sudoración prevista durante 4 horas (TSP4)

Los pasos necesarios para obtener el valor del índice TSP4 son resumidos por McIntyre (1980) así:

Si $T_g \neq T_a$, debe aumentarse la temperatura de bulbo húmedo en $0,4 \cdot (T_g - T_a)$ °C.

Si la tasa metabólica $M > 63 W/m^2$, debe aumentarse la temperatura de bulbo húmedo en la cantidad que se indica en el gráfico (véase la Figura 42.6).

Si la persona está vestida, debe aumentarse la temperatura del bulbo húmedo en $1,5 I_{clo}$ (°C).

Estas modificaciones son aditivas.

La TSP4 se determina a partir de la Figura 42.6. La TSP4 es, por tanto:

$$TSP4 = TSB4 + 0,37 I_{clo} + (0,012 + 0,001 I_{clo}) (M - 63)$$

IV. Frecuencia cardíaca

$$FC = 22,4 + 0,18M + 0,25 (5T_a + 2P_a)$$

donde M es la tasa metabólica W/m^2 , T_a es la temperatura del aire en °C y P_a es la presión del vapor en Mb.

Givoni y Goldman (1973) han propuesto ecuaciones para predecir la frecuencia cardíaca de personas (soldados) en ambientes calurosos. Definen un índice de frecuencia cardíaca (IFC) según la variación de la temperatura rectal de equilibrio prevista.

$$T_{ref} = 36,75 + 0,004(M - W_{ex}) + (0,025/clo)(T_a - 36) + 0,8e^{0,0047}(E_{req} - E_{max})$$

IFC es pues:

$$IFC = 0,4M + (2,5/clo)(T_a - 36) + 80e^{0,0047}(E_{req} - E_{max})$$

donde M = tasa metabólica (vatios), W_{ex} = trabajo mecánico (vatios), clo = aislamiento térmico de la ropa, T_a = temperatura del aire (°C), E_{req} = carga térmica metabólica y ambiental total (vatios), E_{max} = capacidad de enfriamiento por evaporación de la ropa y el ambiente (vatios).

La frecuencia cardíaca de equilibrio (FC_f en latidos por minutos) viene dada por:

$$HR_f = 65 + 0,35(IFC - 25) \text{ para } IFC \leq 225$$

es decir, existe una relación lineal (entre la temperatura rectal y la frecuencia cardíaca) para frecuencias cardíacas de hasta unos 150 latidos por minuto. Para $IFC > 225$:

$$FC_f = 65 + (FC_f - 65)(1 - e^{-3t})$$

es decir, existe una relación exponencial a medida que la frecuencia cardíaca se aproxima al máximo, donde:

FC_f = frecuencia cardíaca de equilibrio (lpm),

65 = supuesta frecuencia cardíaca en reposo y en condiciones de bienestar (lpm), y t = tiempo en horas.

V. Índice de temperatura de globo de bulbo húmedo (WBGT)

La temperatura de globo de bulbo húmedo viene dada por:

$$WBGT = 0,7T_{nwb} + 0,2T_g + 0,1T_a$$

para condiciones con radiación solar, y

$$WBGT = 0,7T_{nwb} + 0,3T_g$$

para interiores sin radiación solar, donde T_{nwb} = temperatura de un termómetro de bulbo húmedo con ventilación natural, T_a = temperatura del aire, y T_g = temperatura de un termómetro de globo negro de 150 mm de diámetro.

Tabla 42.7 • Prácticas de trabajo en ambientes calurosos.

A. Controles técnicos	Ejemplo
1. Reducción de la fuente de calor	Alejarla de los trabajadores o reducir la temperatura. No siempre posible.
2. Control del calor convectivo	Modificar la temperatura del aire y los movimientos de aire. Los refrigeradores locales pueden ser útiles.
3. Control del calor radiante	Reducir la temperatura de las superficies o instalar pantallas reflectoras entre la fuente radiante y los trabajadores. Modificar la emisividad de la superficie. Utilizar puertas que se abran sólo cuando sea necesario el acceso.
4. Control del calor evaporativo	Aumentar el movimiento del aire, reducir la presión del vapor de agua. Utilizar ventiladores o aire acondicionado. Humedecer la ropa y dirigir un chorro de aire hacia la persona.
B. Prácticas de trabajo e higiene y controles administrativos	Ejemplo
1. Limitar la duración y/o la temperatura de exposición	Realizar los trabajos a las horas del día y las épocas del año con menos calor. Proporcionar áreas frescas para el descanso y la recuperación. Proporcionar personal adicional, dar al trabajador libertad para interrumpir el trabajo, aumentar el consumo de agua.
2. Reducir la carga de calor metabólico	Mecanización. Rediseñar los puestos de trabajo. Reducir el tiempo de trabajo. Ampliar la plantilla.
3. Aumentar la tolerancia	Programa de aclimatación al calor. Mantener a los trabajadores en buena forma física. Asegurar la reposición del agua perdida y mantener el equilibrio electrolítico en caso necesario.
4. Educación en materia de salud y seguridad	Supervisores que sepan reconocer los signos de un trastorno por calor y conozcan las técnicas de primeros auxilios. Instrucción básica de todo el personal sobre precauciones personales, uso de equipos protectores y efectos de factores ajenos al trabajo (p.ej., alcohol). Uso de un sistema basado en el "compañero". Existencia de planes de contingencia para tratamiento.
5. Programas de detección de la intolerancia al calor	Antecedentes de trastornos por calor. Mala forma física.
C. Programa de alerta de calor	Ejemplo
1. En primavera, crear un comité de alerta de calor (médico o enfermero/a de empresa, higienista industrial, experto técnico en seguridad, técnico de operaciones, alto directivo)	Organizar cursos de formación. Encomendar a los supervisores la comprobación de las fuentes de agua, etc. Comprobar las instalaciones, prácticas, disponibilidad, etc.
2. Declarar alerta de calor ante una ola de calor	Posponer las tareas que no sean urgentes. Ampliar la plantilla, prolongar los periodos de descanso. Recordar a los trabajadores que tienen que beber. Mejorar las prácticas de trabajo.
D. Enfriamiento adicional del cuerpo y uso de prendas protectoras	
Recurrir a ello si no son susceptibles de modificar el trabajador, el trabajo o el ambiente y si el estrés por calor sigue superando los límites permisibles. Los trabajadores deben estar plenamente aclimatados al calor y haber recibido una formación adecuada en el uso de prendas protectoras. Como ejemplos pueden citarse los trajes refrigerados con agua, los trajes refrigerados con aire, las chaquetas con hielo en los bolsillos y los trajes exteriores humedecidos.	
E. Deterioro del rendimiento laboral	
Debe recordarse que el uso de prendas protectoras contra agentes tóxicos aumenta el estrés por calor. Todas las prendas entorpecen las actividades y pueden reducir el rendimiento laboral (p. ej., al reducir la capacidad de recibir información sensorial dificultando así la audición o la visión).	

Fuente: NIOSH 1986.

donde HR_r es la frecuencia cardíaca después de la recuperación y HR_0 es la frecuencia cardíaca en reposo en un ambiente térmicamente neutro.

Índices directos del estrés por calor

Índice de temperatura de globo de bulbo húmedo

El índice de temperatura de globo de bulbo húmedo (*Wet Bulb Globe Temperature Index*, WBGT) es, con diferencia, el más utilizado en todo el mundo. Fue desarrollado durante una investigación realizada por la Marina de Estados Unidos sobre los accidentes por calor que sufría el personal militar (Yaglou y Minard 1957) como una aproximación a la Temperatura Efectiva Corregida (TEC) más complicada de obtener, modificada para tener en

cuenta la absorción solar de los uniformes militares de color verde.

Los valores límites del WBGT se utilizaron para determinar cuándo los reclutas militares podían recibir instrucción. Se observó que los accidentes por calor y el tiempo perdido por interrupción de la instrucción se reducían cuando se utilizaba el índice WBGT en lugar de tan sólo la temperatura del aire. El índice WBGT fue adoptado por NIOSH (1972), ACGIH (1990) e ISO 7243 (1989a) y su uso se sigue recomendando hoy en día. En la norma ISO 7243 (1989a), basada en el índice WBGT, se describe un método sencillo de utilizar en ambientes calurosos para establecer un diagnóstico "rápido". Dicha norma incluye también las especificaciones de los instrumentos de medida, como son los valores límite del WBGT para personas aclimatadas y no aclimatadas (véase la Tabla 42.6). Por ejemplo,

Tabla 42.8 • Ecuaciones utilizadas para el cálculo del índice SW_{req} y en el método de evaluación de ISO 7933 (1989b).

$$SW_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}}$$

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R$$

$$C_{res} = 0,0014 M (35 - t_a)$$

$$E_{res} = 0,0173 M (5,624 - P_a)$$

$$C = h_c \cdot F_{cl} (\bar{t}_{sk} - \bar{t}_a)$$

$$R = h_r \cdot F_{cl} (\bar{t}_{sk} - \bar{t}_r)$$

$$W = E/E_{max}$$

$$r = 1 - W^2/2$$

$$h_c = 2,38 |\bar{t}_{sk} - \bar{t}_a|^{0,25} \text{ para la convección natural}$$

$$= 3,5 + 5,2 v_{ar}, \text{ para } v_{ar} < 1 \text{ ms}^{-1}$$

$$= 8,7 v_{ar}^{0,6}, \text{ para } v_{ar} > 1 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_{ar} = v_a + 0,0052(M - 58)$$

$$h_r = (\sigma E_{sk} \cdot A_r / A_b) \frac{[(\bar{t}_{sk} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4]}{(\bar{t}_{sk} - \bar{t}_r)}$$

$$F_{cl} = \frac{1}{\left[(h_c + h_r) f_{cl} + \frac{1}{f_{cl}} \right]}$$

$$f_{cl} = 1 + 1,97 I_{cl}$$

$$E_{max} = \frac{(P_{sk,s} - P_a)}{R_T}$$

$$R_T = \frac{1}{(h_e - F_{pd})}$$

$$h_e = 16,7 h_c$$

$$F_{pd} = \left\{ 1 + 2,22 h_c \left[\frac{I_{cl} - \left(1 + \frac{1}{f_{cl}} \right)}{h_c - h_r} \right] \right\}^{-1}$$

$\bar{t}_{sk} = 30,0 + 0,093 t_a + 0,045 \bar{t}_r - 0,571 v_a + 0,254 P_a + 0,00128 M - 3,57 I_{cl}$
o $\bar{t}_{sk} = 36 \text{ } ^\circ\text{C}$, para una aproximación o cuando los valores superan los límites para los que se derivó la ecuación.

Tabla 42.9 • Descripción de los términos utilizados en ISO 7933 (1989b).

Símbolo	Término	Unidades
A_r/A_{du}	fracción de la superficie cutánea implicada en el intercambio de calor por radiación	n d
C	intercambio de calor a través de la piel por convección	Wm^{-2}
C_{res}	pérdida de calor en la respiración por convección	Wm^{-2}
E	flujo de calor por evaporación en la superficie cutánea	Wm^{-2}
E_{max}	tasa máxima de evaporación que puede conseguirse con la piel totalmente húmeda	Wm^{-2}
E_{req}	evaporación necesaria para el equilibrio térmico	Wm^{-2}
E_{res}	pérdida de calor en la respiración por evaporación	Wm^{-2}
E_{sk}	emisividad de la piel (0,97)	n d
F_{cl}	factor de reducción por intercambio de calor sensible a través de la ropa	n d
F_{pcl}	factor de reducción por el intercambio de calor latente	n d
f_{cl}	relación entre la superficie de la persona vestida y desvestida	n d
h_c	coeficiente de transferencia de calor por convección	$Wm^{-2}K^{-1}$
h_e	coeficiente de transferencia de calor por evaporación	$Wm^{-2}kPa^{-1}$
h_r	coeficiente de transferencia de calor radiante	$Wm^{-2}K^{-1}$
I_{cl}	aislamiento térmico básico de la ropa seca	$m^2 KW^{-1}$
K	intercambio de calor a través de la piel por conducción	Wm^{-2}
M	tasa metabólica	Wm^{-2}
P_a	presión parcial del vapor de agua	kPa
$P_{sk,s}$	presión de vapor saturado a la temperatura cutánea	kPa
R	intercambio de calor a través de la piel por radiación	Wm^{-2}
R_T	resistencia total a la evaporación de la capa de aire limitante y la ropa	m^2kPaW^{-1}
r_{req}	eficiencia evaporativa con la tasa de sudoración requerida	n d
SW_{req}	tasa de sudoración requerida para el equilibrio térmico	Wm^{-2}
σ	constante de Stefan-Boltzman, $5,67 \times 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$
t_a	temperatura del aire	$^\circ\text{C}$
\bar{t}_r	temperatura radiante media	$^\circ\text{C}$
\bar{t}_{sk}	temperatura cutánea media	$^\circ\text{C}$
v_a	velocidad del aire para una persona estacionaria	ms^{-1}
v_{ar}	velocidad relativa del aire	ms^{-1}
W	trabajo mecánico	Wm^{-2}
w	humedad de la piel	n d
w_{req}	humedad necesaria de la piel	n d

n d = no dimensional.

Tabla 42.10 • Valores de WBGT (°C) para cuatro fases de trabajo.

Fase del trabajo (minutos)	WBGT = WBGT _{ank} + 2 WBGT _{abd} + WBGT _{nd}	WBGT de referencia
0-60	25	30
60-90	23	33
90-150	23	30
150-180	30	28

para una persona aclimatada en reposo con una ropa de 0,6 clo, el valor límite del WBGT es de 33 °C. Los límites establecidos por ISO 7243 (1989a) y NIOSH 1972 son casi idénticos. Los cálculos del índice WBGT se explican en la sección V del recuadro adjunto.

Gracias a la simplicidad de este índice y a su aplicación por organismos influyentes, se ha conseguido su aceptación generalizada. Al igual que todos los índices directos, presenta limitaciones cuando se utiliza para simular la respuesta humana y debe utilizarse con precaución en aplicaciones prácticas. En el mercado existen instrumentos portátiles que miden el índice WBGT (p. ej., Olesen 1985).

Límite fisiológico de exposición al calor (LFEC)

Dasler (1974, 1977) propone unos valores límites del WBGT basándose en la predicción de que se sobrepasen dos límites fisiológicos (a partir de datos experimentales) de estrés inadmisibles. Los límites vienen dados por:

$$LFEC = (17,25 \times 10^8 - 12,97M \times 10^6 + 18,61M^2 \times 10^3) \times WBGT^{-5,36}$$

Por tanto, este índice utiliza el índice directo WBGT en la zona de urgencia ambiental (véase la Figura 42.4), donde puede producirse almacenamiento de calor.

Índice de temperatura de globo húmedo (Wet Globe Temperature, WGT)

La temperatura de un globo negro húmedo del tamaño adecuado puede utilizarse como índice del estrés por calor. Tal índice se basa en el principio de que dicha temperatura se ve afectada tanto por la transferencia de calor seco como por la evaporación, como sería el caso de un hombre que suda. Así, la temperatura puede utilizarse, basándose en la experiencia previa, como índice del estrés por calor. Olesen (1985) describe el WGT como la temperatura de un globo negro de 63,5 mm de diámetro cubierto por una tela negra humedecida. La temperatura se lee una vez alcanzado el equilibrio al cabo de unos 10 o 15 minutos de exposición. El NIOSH (1986) describe el Botsball (Botsford 1971) como el instrumento más sencillo y fácil de leer. Se trata de una esfera de cobre de 3 pulgadas (76,2 mm) de diámetro cubierta por una tela negra que se mantiene con una humedad del 100 % gracias a un recipiente de agua que empapa automáticamente la tela. El componente sensor del termómetro está situado en el centro de esfera y la temperatura se lee en un dial (codificado en colores).

Existe una sencilla ecuación que relaciona WGT y WBGT:

$$WBGT = WGT + 2 \text{ °C}$$

para condiciones moderadas de calor radiante y humedad (NIOSH 1986), pero por supuesto esta relación se mantiene sólo en ciertas condiciones.

Índice de Oxford

Lind (1957) propuso un índice sencillo y directo de la exposición al calor limitada por el almacenamiento y basada en una suma ponderada de la temperatura de bulbo húmedo aspirado (T_{wb}) y la temperatura de bulbo seco (T_{db}):

$$WD = 0,85 T_{wb} + 0,15 T_{db}$$

Los tiempos de exposición permisible establecidos para los equipos de rescate de las minas se basaron en este índice. Aunque tiene muchas aplicaciones, no es adecuado cuando existe una importante radiación térmica.

Prácticas de trabajo en ambientes calurosos

El NIOSH (1986) proporciona una descripción detallada de las prácticas de trabajo en ambientes calurosos, incluidas las prácticas de medicina preventiva. En ISO CD 12894 (1993) se recomienda la vigilancia médica de las personas expuestas a ambientes calurosos o fríos. Debe siempre recordarse que un derecho humano básico, contemplado en la *Declaración de Helsinki*, es que, siempre que sea posible, las personas pueden retirarse de unas condiciones ambientales extremas sin necesidad de explicación. Cuando dicha exposición tiene lugar, los riesgos pueden reducirse considerablemente con unas prácticas de trabajo adecuadas.

Un principio razonable en la ergonomía ambiental y la higiene industrial es que los factores de estrés ambiental deben siempre intentar reducirse en su fuente. El NIOSH (1986) clasifica los métodos de control en cinco tipos (véase la Tabla 42.7).

Se han realizado numerosas investigaciones militares sobre las llamadas prendas protectoras NBC (nucleares, biológicas y químicas). En ambientes calurosos, los trabajadores no se pueden quitar la ropa y las prácticas de trabajo son muy importantes. Un problema similar ocurre con los trabajadores de las centrales nucleares. Los métodos de enfriamiento rápido de los trabajadores para que puedan volver al trabajo consisten en humedecer la superficie exterior de las prendas de vestir con agua y la aplicación de un chorro de aire frío sobre dicha superficie. Otras técnicas consisten en utilizar dispositivos activos de refrigeración y métodos para refrigerar algunas partes del cuerpo. En la actualidad se está empezando a utilizar la tecnología de las prendas militares en contextos industriales, pero aún así unas prácticas adecuadas de trabajo pueden reducir considerablemente el riesgo.

Evaluación de ambientes calurosos utilizando las normas ISO

El siguiente ejemplo hipotético demuestra como pueden utilizarse las normas ISO para evaluar un ambiente caluroso (Parsons 1993).

Tabla 42.11 • Datos básicos para la evaluación analítica utilizando ISO 7933.

Fase del trabajo (minutos)	t_a (°C)	t_r (°C)	P_a (Kpa)	v (ms ⁻¹)	c/o (clo)	Act (Wm ⁻²)
0-60	30	50	3	0,15	0,6	100
60-90	30	30	3	0,05	0,6	58
90-150	30	30	3	0,20	0,6	100
150-180	30	60	3	0,30	1,0	150

El trabajo en una fábrica siderúrgica se divide en cuatro fases. Los trabajadores se visten y realizan un trabajo ligero durante 1 hora en un ambiente expuesto a calor radiante. Descansan una hora y seguidamente realizan el mismo trabajo ligero durante otra hora protegidos del calor radiante. A continuación, realizan un trabajo que les exige un nivel moderado de actividad física en un ambiente con calor radiante durante 30 minutos.

ISO 7243 proporciona un método sencillo para vigilar el ambiente utilizando el índice WBGT. Si los niveles calculados de WBGT son inferiores a los valores WBGT de referencia indicados en esta norma, no es necesario tomar ninguna medida. Si los sobrepasan (Tabla 42.6), debe reducirse el estrés al que están sometidos los trabajadores mediante controles técnicos y unas prácticas de trabajo adecuadas. Una medida complementaria o alternativa consiste en realizar una evaluación analítica de acuerdo con ISO 7933.

Los valores WBGT para el trabajo que se presentan en la Tabla 42.10 se midieron conforme a las especificaciones indicadas en ISO 7243 e ISO 7726. Los factores ambientales y personales relacionados con las cuatro fases del trabajo se presentan en la Tabla 42.11.

Puede observarse que durante parte del trabajo, los valores WBGT sobrepasan los valores de referencia, por lo que se concluye que es necesario realizar un análisis más detallado.

El método analítico de evaluación que se describe en ISO 7933 se aplicó utilizando los datos que aparecen en la Tabla 42.11 y el programa informático citado en el anexo de la norma. En la Tabla 42.12 se muestran los resultados correspondientes a los trabajadores aclimatados en términos de nivel de alarma.

Por consiguiente, una evaluación global permite predecir que los trabajadores no aclimatados, pero con capacidad física para el trabajo, podrían realizar un turno de 8 horas sin sufrir un estrés fisiológico (térmico) inaceptable. Si se precisa una mayor exactitud, o si es necesario evaluar a trabajadores individuales, las normas ISO 8996 e ISO 9920 proporcionan información más detallada sobre la producción de calor metabólico y el aislamiento de la ropa.

La norma ISO 9886 describe métodos para medir el estrés fisiológico de los trabajadores y puede utilizarse para diseñar y evaluar ambientes de trabajadores específicos. La temperatura cutánea media, la temperatura interna del organismo, la frecuencia cardíaca y la pérdida de masa son relevantes en este ejemplo. ISO CD 12894 proporciona directrices para la supervisión médica de una investigación.

Tabla 42.12 • Evaluación analítica utilizando ISO 7933.

Fase del trabajo (minutos)	Valores previstos			Exposición de duración limitada (minutos)	Razón del límite
	t_{sk} (°C)	w (n d)	SW (gh ⁻¹)		
0-60	35,5	0,93	553	423	Pérdida hídrica
60-90	34,6	0,30	83	480	Sin límite
90-150	34,6	0,57	213	480	Sin límite
150-180	35,7	1,00	566	45	Temperatura corporal
Total	—	0,82	382	480	Sin límite

INTERCAMBIO DE CALOR A TRAVÉS DE LA ROPA

Wouter A. Lotens

Para poder sobrevivir y trabajar en condiciones más calurosas o más frías, debe crearse un clima cálido en la superficie de la piel por medio de la ropa y el calentamiento o enfriamiento artificial. Para poder diseñar las prendas más eficaces para el trabajo a temperaturas extremas, tienen que conocerse los mecanismos de intercambio de calor a través de la ropa.

Mecanismos de transferencia de calor a través de la ropa

Naturaleza del aislamiento proporcionado por la ropa

La transferencia de calor a través de la ropa o, al contrario, el aislamiento que proporcionan las prendas de vestir, depende en gran medida de que el aire quede atrapado en y sobre la ropa. La ropa consiste, como primera aproximación, en cualquier tipo de material que atrape capas de aire. Es una definición aproximada porque algunas de las propiedades de los materiales son importantes, como la construcción mecánica de los tejidos (por ejemplo, resistencia al viento y capacidad de las fibras para soportar tejidos gruesos) y las propiedades intrínsecas de las fibras (por ejemplo, absorción y reflexión de calor radiante, absorción de vapor de agua, transpiración del sudor). Para ambientes no demasiado extremos suelen sobrestimarse las ventajas de algunos tipos de fibras.

Capas de aire y movimiento del aire

La idea de que es el aire, y en particular el aire inmóvil, el que proporciona aislamiento, sugiere que las capas gruesas de aire aumentan el aislamiento. Y no deja de ser cierto, aunque el grosor de las capas de aire está físicamente limitado. Las capas se forman por adhesión de moléculas de gas a cualquier superficie, por cohesión de una segunda capa de moléculas a la primera, y así sucesivamente. Con todo, las fuerzas que unen a las sucesivas capas son cada vez más débiles, de manera que las moléculas exteriores se mueven incluso con movimientos externos de aire muy pequeños. Cuando el aire está inmóvil, las capas de aire pueden tener un grosor de hasta 12 mm, pero cuando el movimiento del aire aumenta, como en el caso de una tormenta, el grosor se reduce a menos de 1 mm. En general, existe una relación de raíz cuadrada entre el grosor de las capas de aire y el movimiento del aire (véase el recuadro de "Fórmulas y Definiciones"). La función exacta depende del tamaño y la forma de la superficie.

Conducción de calor del aire inmóvil y en movimiento

El aire inmóvil actúa como una capa aislante que tiene una conductividad constante con independencia de la forma del material. Las alteraciones de las capas de aire produce una pérdida de grosor efectivo; estas alteraciones pueden estar causadas no sólo por el viento, sino también por el movimiento de la persona que lleva la ropa, desplazamiento de todo el cuerpo (un componente del viento) y movimiento de ciertas partes del cuerpo. A este efecto se suma la convección natural. En la Figura 42.7 se muestra un gráfico del efecto de la velocidad del aire en la capacidad aislante de una capa de aire.

Transferencia de calor por radiación

La radiación es otro importante mecanismo para la transferencia de calor. Todas las superficies irradian calor y absorben el calor irradiado por otras superficies. El flujo de calor radiante es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre

Fórmulas y definiciones

En general existe una relación de raíz cuadrada entre el grosor d de una capa de aire estático y la velocidad del aire v . La función exacta depende del tamaño y la forma de la superficie, pero para el cuerpo humano se puede realizar la siguiente aproximación:

$$d = 0,0031/\sqrt{v}$$

El aire inmóvil actúa como una capa aislante con una conductividad λ (constante del material, con independencia de su forma) de 0,026 W/mK, y un coeficiente de transferencia de calor h (unidades de W/m²K) (propiedad conductora del material) de:

$$h = \lambda \cdot d = 8,3 \sqrt{v} \text{ (Kerslake 1972).}$$

El flujo de calor radiante ($\dot{\epsilon}_r$) entre dos superficies es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambas:

$$\dot{\epsilon}_r = 4 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^3 \Delta T$$

donde T es la temperatura media absoluta (en grados Kelvin) de las dos superficies, ϵ es el coeficiente de absorción y σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴). La magnitud del intercambio de radiación está inversamente relacionada con el número de capas interpuestas (n):

$$\dot{\epsilon}_r = \dot{\epsilon}_{r0}/(1+n)$$

El aislamiento proporcionado por la ropa (I_{cl}) viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$I_{cl} = (T_{sk} - T_{cl})/\dot{\epsilon}_{dry}$$

$$I_a = (T_{cl} - T_a) \cdot f_{cl}/\dot{\epsilon}_{dry}$$

$$I_t = I_{cl} + I_a/f_{cl}$$

donde I_{cl} es el aislamiento intrínseco, I_a es el aislamiento del aire (adyacente), I_t es el aislamiento total, T_{sk} es la temperatura cutánea media, T_{cl} es la temperatura media de la superficie exterior de la ropa, T_a es la temperatura del aire, $\dot{\epsilon}_{dry}$ es el flujo de calor seco (calor convectivo y radiante) por unidad de superficie de la piel y

f_{cl} es el factor de la superficie de la ropa. Este coeficiente se subestimó en los primeros estudios, pero estudios más recientes coinciden en la expresión $f_{cl} = 1 + 1,9 \cdot I_{cl}$

I suele expresarse en unidades *clo*: un *clo* equivale a 0,155 m²K/W.

McCullough y cols. (1985) derivaron una ecuación de regresión a partir de los datos sobre distintos conjuntos de prendas, utilizando el grosor del tejido (d_{fabr} , en mm) y el porcentaje de la superficie corporal cubierta (ρ_{bc}) como determinantes. Su fórmula para calcular el aislamiento proporcionado por cada prenda de vestir (I_{cli}) es:

$$I_{cli} = 0,0012 \cdot \rho_{bc} + 0,0002 \cdot \rho_{bc} \cdot d_{fabr}^{0,4} - 0,012$$

La resistencia evaporativa R (unidades de s/m) puede definirse como:

$$R_{cl} = (C_{sk} - C_{cl})/\dot{m}$$

(o en ocasiones $R_e = (P_{sk} - P_{cl})/\dot{\epsilon}_e$, en m²Pa/W)

$$R_{cl} = (d_{ens} + 0,001 \cdot n + 0,3 \cdot d_{cl})/D$$

Para las capas de tejido, el equivalente de aire (d_{eq}) es el grosor del aire que ofrece la misma resistencia a la difusión del calor que el tejido. Los flujos asociados de vapor (\dot{m}) y calor latente ($\dot{\epsilon}_e$) son:

$$\dot{m} = D \cdot \Delta C / d_{eq} \text{ (en unidades g/m}^2\text{/s)}$$

$$\dot{\epsilon}_e = H_e \cdot \dot{m} \text{ (en unidades W/m}^2\text{)}$$

donde D es el coeficiente de difusión (m²/s), C la concentración de vapor (g/m³) y H_e el calor de evaporación (2.430 J/g).

$$d_{eq} = 0,001 + 1,3 \cdot d_{fabr}$$

(obtenido de Lotens 1993). d_{eq} está relacionado con R por:

$$d_{eq} = R \cdot D$$

donde:

D es el coeficiente de difusión del vapor de agua en el aire, $2,5 \times 10^{-5}$ m²/s.

las dos superficies que participan en el intercambio. Una capa de ropa entre ambas superficies interferirá en la transferencia de calor radiante al interceptar el flujo de energía; la ropa alcanzará una temperatura próxima a la temperatura media de las dos superficies, reduciendo a la mitad la diferencia de temperatura entre ellas y, por consiguiente, reduciendo también a la mitad el flujo de calor radiante. Al aumentar el número de capas interpuestas, disminuye la velocidad de transferencia de calor.

Por consiguiente, las capas múltiples reducen la transferencia de calor radiante. Cuando se utilizan trajes de guata o de fibra, la radiación es interceptada por las fibras distribuidas, más que por una capa de tejido. La densidad del material de fibra (o más bien la superficie total de material de fibra por volumen de tejido) es un parámetro crítico para la transferencia de radiación dentro de esos trajes de fibra. A igualdad de peso, las fibras delgadas proporcionan más superficie que las fibras gruesas.

Aislamiento de los tejidos

Como resultado de la conductividad del aire atrapado y la transferencia de radiación, la conductividad de los tejidos se mantiene realmente constante para tejidos de distintos grosores y densidades. El aislamiento térmico es, por consiguiente, proporcional al grosor.

Resistencia al vapor del aire y los tejidos

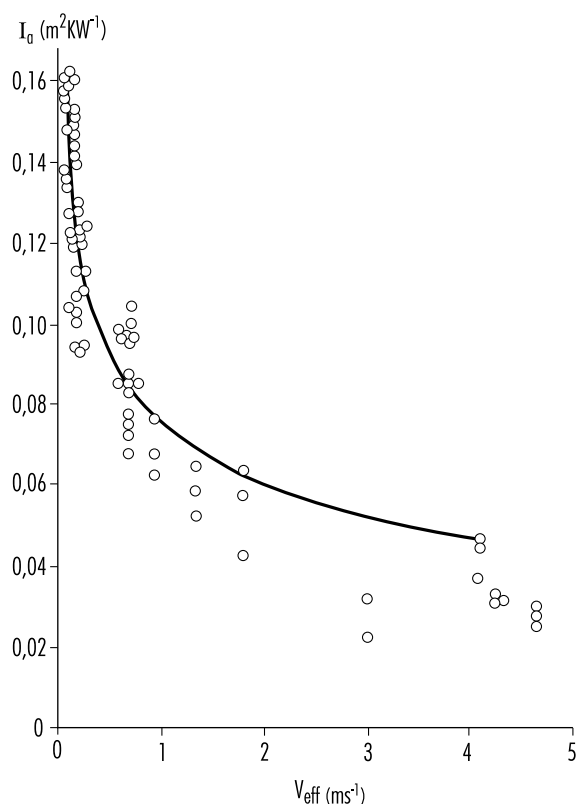
Las capas de aire ofrecen también resistencia a la difusión del sudor evaporado de la piel húmeda al ambiente. La resistencia es más o menos proporcional al grosor del conjunto de prendas. En el caso de los tejidos, la resistencia al vapor depende del aire atrapado y de la densidad de la construcción. En los tejidos naturales, una gran densidad no permite un gran grosor. Debido a esta limitación, se puede estimar el equivalente de aire de tejidos que no contienen películas ni revestimientos (véase la Figura 42.8). Los tejidos revestidos o los tejidos laminados en películas pueden ofrecer una resistencia imprevisible al vapor que debe determinarse por medición.

De los tejidos y la capas de aire a las prendas de vestir

Capas múltiples de tejido

Algunas conclusiones importantes que pueden extraerse de los mecanismos de transferencia del calor es que para que una prenda de vestir proporcione un gran aislamiento tiene que ser necesariamente gruesa, que se puede conseguir un gran aislamiento con conjuntos de prendas que consten de múltiples capas finas, que una prenda floja proporciona más aislamiento que una

Figura 42.7 • Efecto de la velocidad del aire en la capacidad aislante de una capa de aire.



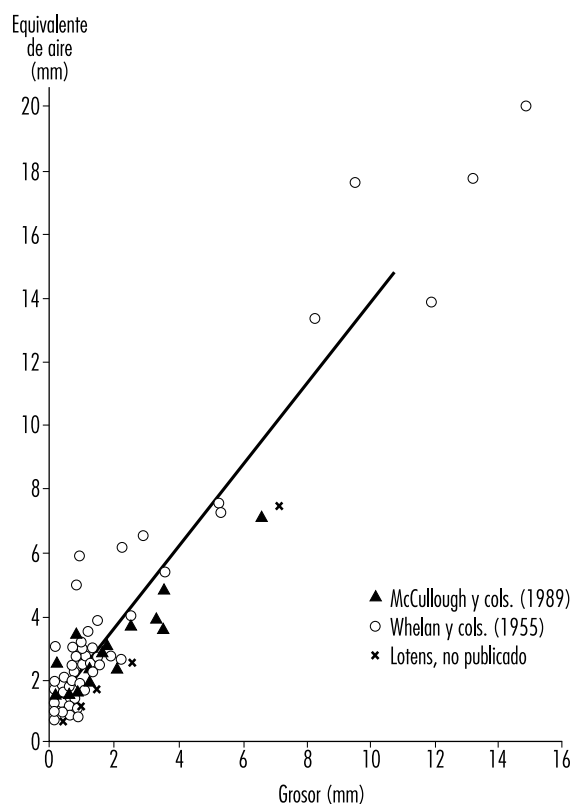
apretada y que el aislamiento tiene un límite inferior determinado por la capa de aire que se adhiere a la piel.

En el caso de las prendas de abrigo, es difícil conseguir el grosor necesario utilizando sólo tejidos finos. Una solución consiste en crear tejidos gruesos añadiendo dos tejidos interiores finos a una guata. La finalidad de la guata es crear una capa de aire y mantener el aire interno lo más quieto posible. Los tejidos gruesos ofrecen otra desventaja: cuantas más capas se superpongan, más se restringe la movilidad.

Tipos de prendas de vestir

El aislamiento que proporciona un conjunto de prendas de vestir depende en gran medida de su diseño. Los parámetros del diseño que influyen en el aislamiento son el número de capas, las aberturas, el ajuste, la distribución del aislamiento por el cuerpo y las zonas de piel al descubierto. Algunas propiedades de los materiales, como su permeabilidad al aire, su reflectancia y los revestimientos son también importantes. Además, el viento y la actividad alteran el aislamiento. ¿Se puede hacer una descripción adecuada de la ropa para poder predecir el bienestar y la tolerancia del que la usa? Se han hecho algunos intentos utilizando técnicas diferentes. La mayoría de las estimaciones del aislamiento total de la ropa se han realizado para condiciones estáticas (sin movimiento, sin aire) o en interiores, porque los datos disponibles se obtuvieron de maniqués térmicos (McCullough, Jones y Huck 1985). Las mediciones en seres humanos son laboriosas y los resultados varían ampliamente. Desde mediados del decenio de 1980 se han desarrollado y utilizado maniqués móviles fiables (Olesen y cols. 1982; Nielsen, Olesen y Fanger 1985). Asimismo, la mejora de las técnicas de medición ha permitido realizar experimentos humanos más exactos. Un

Figura 42.8 • Relación entre el grosor y la resistencia al vapor (d_{eq}) de tejidos sin revestimiento.



problema que todavía no se ha solucionado del todo es que en estas evaluaciones no se tiene debidamente en cuenta la evaporación del sudor. Casi nunca se utilizan maniqués capaces de sudar y en ningún caso éstos permiten realizar una distribución realista de la tasa de sudoración en el cuerpo. Los seres humanos sudan, pero de una forma variable.

Definición del aislamiento proporcionado por la ropa

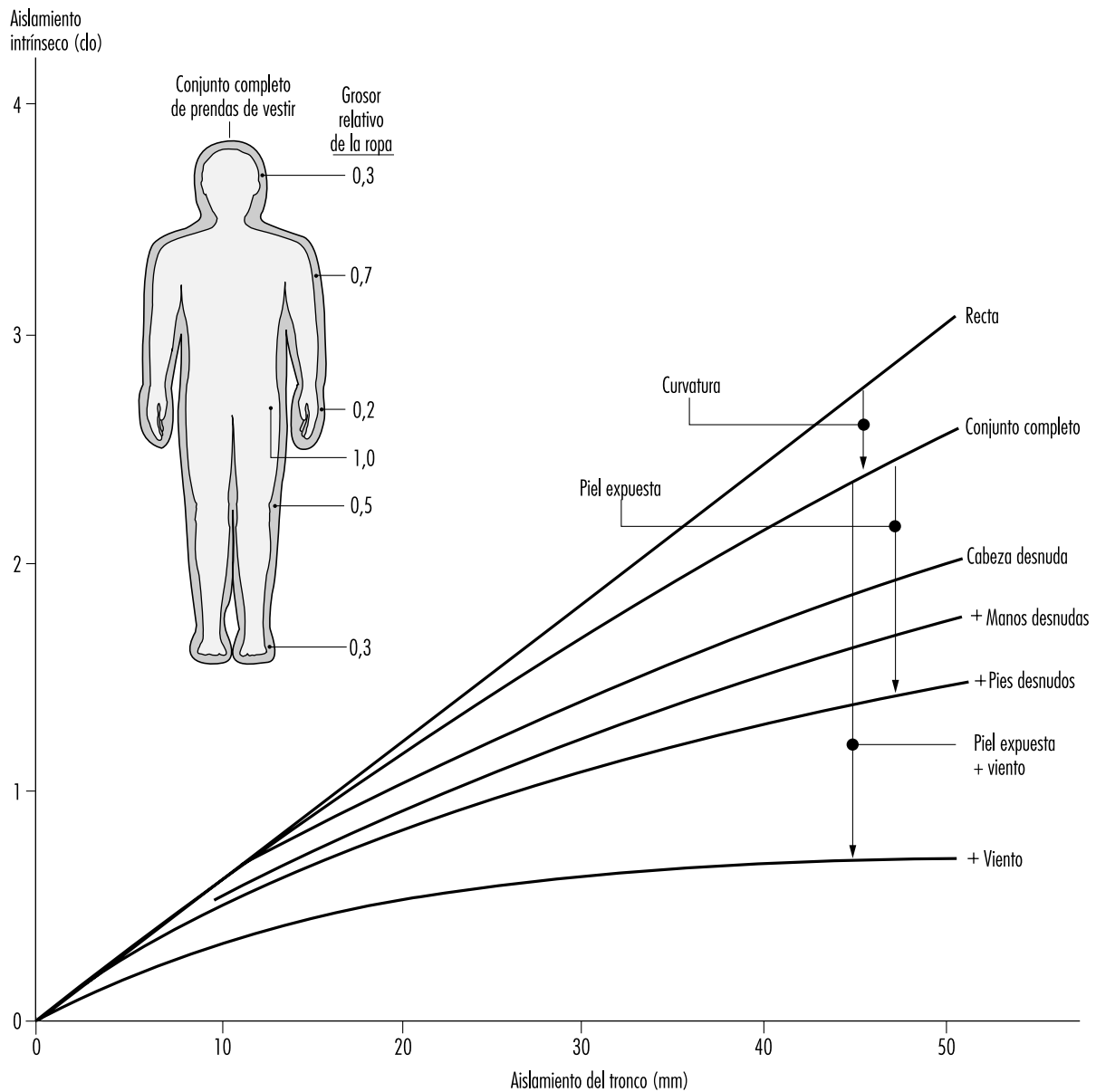
El aislamiento de la ropa (I_{cl} en unidades de $m^2 K/W$) en condiciones estables, sin fuentes de radiación ni condensación sobre la ropa, se define en el recuadro. I_{cl} suele expresarse en unidades clo (que no es una unidad internacional estándar). Un clo equivale a $0,155 m^2 K/W$. El uso de la unidad clo significa implícitamente que la medida hace referencia a todo el cuerpo y, por tanto, que incluye la transferencia de calor por las partes del cuerpo expuestas.

I_{cl} se modifica por acción del movimiento y el viento, según se ha explicado antes, y una vez realizadas las correcciones oportunas, se obtiene el *aislamiento resultante*, un término utilizado con frecuencia, aunque no aceptado unánimemente.

Distribución de la ropa por el cuerpo

La transferencia total de calor corporal incluye el calor transferido por la piel expuesta (normalmente cabeza y manos) y el calor que atraviesa la ropa. El *aislamiento intrínseco* (véase el recuadro) se calcula para toda la superficie cutánea, no sólo para las partes protegidas. La piel expuesta transfiere más calor que la piel cubierta y, por tanto, tiene una gran influencia en el aislamiento intrínseco. Es un efecto que se potencia cuando aumenta la velocidad del aire. En la Figura 42.9 puede observarse que el aislamiento intrínseco se reduce sucesivamente debido a la curvatura

Figura 42.9 • Aislamiento intrínseco e influencia de la curvatura del cuerpo, la piel desnuda y la velocidad del viento.



de las formas corporales (las capas exteriores son menos eficaces que las interiores), las partes del cuerpo expuestas (vías adicionales para la transferencia de calor) y la mayor velocidad del aire (menos aislamiento, sobre todo en la piel expuesta) (Lotens 1989). Cuando se utilizan trajes gruesos, la reducción del aislamiento es mucho más notable.

Grosor y cobertura típica de la ropa

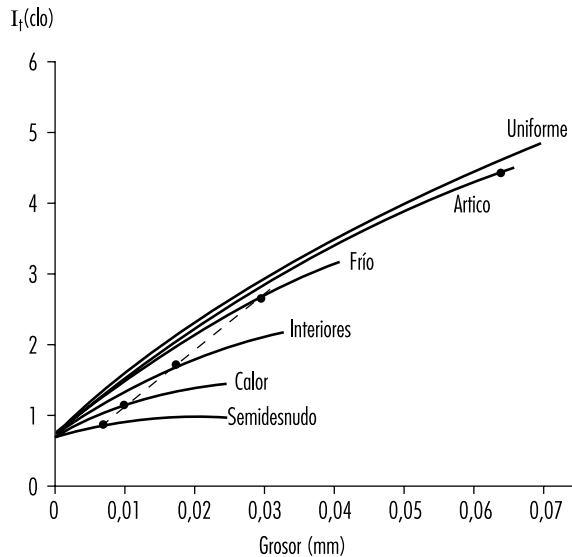
Aparentemente, tanto el grosor del aislamiento como la cobertura de la piel son determinantes de la pérdida de calor. En la vida real, estos dos factores están correlacionados en el sentido de que las prendas de abrigo no sólo son más gruesas, sino que también cubren una mayor proporción del cuerpo que las utilizadas en verano. En la Figura 42.10 se demuestra que estos efectos en conjunto producen una relación casi lineal entre el grosor de la prenda (expresado como volumen del material

aislante por unidad de superficie de la prenda) y el aislamiento (Lotens 1989). El límite inferior viene dado por el aislamiento del aire adyacente y el límite superior, por la posibilidad de utilizar la prenda. La distribución uniforme proporciona el mejor aislamiento en climas fríos, pero las prendas que pesan y abultan mucho en las extremidades resultan poco prácticas. Por consiguiente, el grosor de la ropa suele ser mayor en el tronco y la sensibilidad de algunas zonas de piel al frío está adaptada a esta práctica. Las extremidades desempeñan una importante función en el control del equilibrio térmico del ser humano y un elevado aislamiento de las extremidades limita la eficacia de esa regulación.

Ventilación de las prendas de vestir

Las capas de aire atrapadas en la ropa están sujetas al movimiento del que la lleva y al viento, pero en un grado diferente a la

Figura 42.10 • Aislamiento total resultante del grosor de la ropa y su distribución sobre el cuerpo.



capa de aire adyacente. El viento produce ventilación en el interior de las prendas, tanto por el aire que penetra en los tejidos, como por el que se introduce por las aberturas, mientras que el movimiento de la persona aumenta la circulación interna. Havenith, Heus y Lotens (1990) observaron que el movimiento es un factor más importante en el interior de las prendas de vestir que en la capa de aire adyacente, en función de la permeabilidad al aire del tejido. En el caso de tejidos muy permeables al aire, el viento produce una ventilación considerable. Lotens (1993) demostró que la ventilación puede expresarse como una función de la velocidad efectiva del viento y la permeabilidad del tejido al aire.

Estimación del aislamiento y la resistencia al vapor de las prendas de vestir

Estimación física del aislamiento proporcionado por la ropa

El grosor de un traje proporciona una primera estimación del aislamiento. La conductividad típica de un traje es de 0,08 W/mK. Con un grosor medio de 20 mm, se obtiene un I_{cl} de 0,25 m² K/W, o 1,6 clo. En todo caso, las partes holgadas, como los pantalones o las mangas, tienen una conductividad mucho mayor, del orden de 0,15, mientras que las partes ajustadas tienen una conductividad de 0,04, el famoso 4 clo por pulgada comunicado por Burton y Edholm (1955).

Estimaciones obtenidas de tablas

Otros métodos utilizan valores obtenidos de tablas de prendas de vestir medidas previamente en maniqués. Para investigar un conjunto de prendas de vestir, éste tiene que separarse en sus distintos componentes y buscar en la tabla el valor correspondiente a cada uno de ellos. Si se hace una elección incorrecta de la prenda más parecida que aparece en la tabla, pueden introducirse errores. Para estimar el aislamiento intrínseco de un conjunto de prendas, los valores del aislamiento proporcionado por cada prenda tienen que introducirse en una ecuación sumatoria (McCullough, Jones y Huck 1985).

Factor de la superficie cubierta por la ropa

Para calcular el aislamiento total tiene que estimarse f_{cl} (véase el recuadro de la pág. 42.24). Una estimación experimental práctica consiste en medir la superficie cubierta por la ropa, introduciendo correcciones para tener en cuenta las prendas superpuestas, y dividir por la superficie cutánea total (DuBois y DuBois 1916). Otras estimaciones de distintos estudios demuestran que f_{cl} aumenta linealmente con el aislamiento intrínseco.

Estimación de la resistencia al vapor

La resistencia al vapor de un conjunto de prendas de vestir es la suma de la resistencia de la capas de aire y las capas de ropa. Normalmente, el número de capas varía según la parte del cuerpo y la mejor estimación es la media ponderada de las distintas partes del cuerpo, incluida la piel expuesta a la intemperie.

Resistencia relativa al vapor

La resistencia a la evaporación se utiliza con menos frecuencia que I_{cl} , ya que se han realizado pocas mediciones de C_{cl} (o P_{cl}). Woodcock (1962) evitó este problema definiendo el índice de permeabilidad al vapor de agua i_m como el cociente entre I_{cl} y R , relacionado con el mismo cociente para una única capa de aire (este último cociente es casi constante y se conoce como constante psicrométrica S , 0,0165 K/Pa, 2,34 Km³/g o 2,2 K/torr); $i_m = I_{cl}/(R \cdot S)$. Los valores típicos de i_m para prendas sin revestimientos, medidos en maniqués, varían entre 0,3 y 0,4 (McCullough, Jones y Tamura 1989). Los valores de i_m para tejidos superpuestos y el aire adyacente pueden medirse con relativa facilidad utilizando un calentador húmedo, pero el valor depende en realidad del flujo de aire sobre el aparato y de la reflectancia de la cabina sobre la que se instala. Algunas veces se intenta extrapolar el cociente entre R e I_{cl} en personas vestidas obtenido de la medición de tejidos a conjuntos de prendas de vestir (DIN 7943-2 1992). Es un proceso que plantea dificultades técnicas, entre otras cosas porque R es sólo proporcional al componente convectivo de I_{cl} , de manera que tienen que realizarse cuidadosas correcciones para tener en cuenta la

Figura 42.11 • Articulación del cuerpo humano en cilindros.

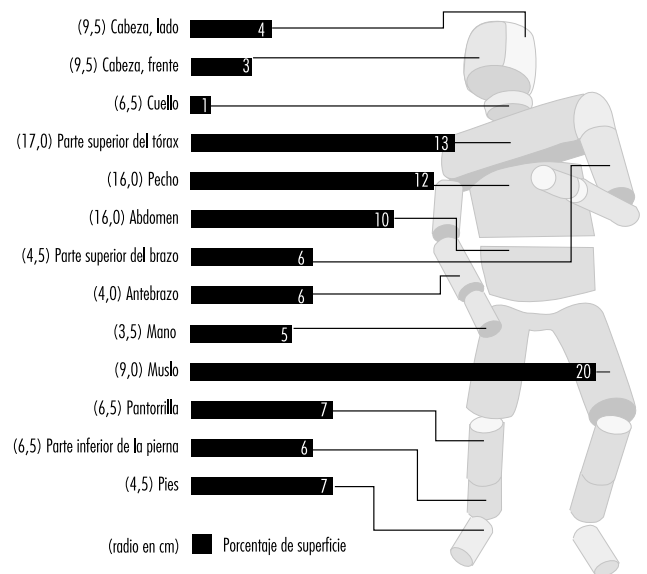
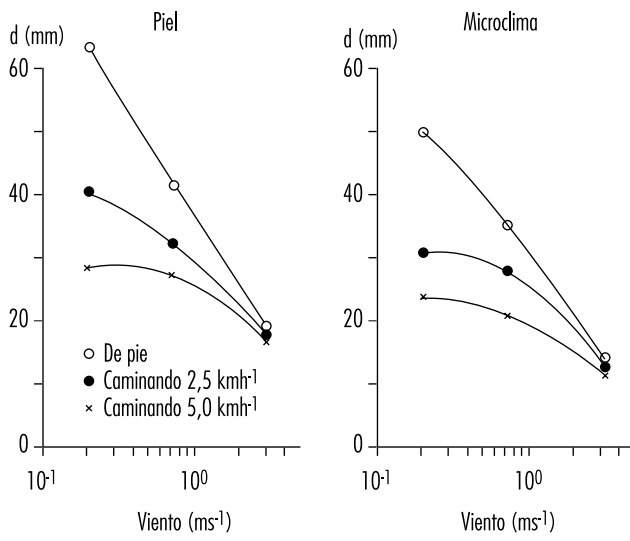


Figura 42.12 • Disminución de la resistencia al vapor de distintas prendas para la lluvia con el viento y la acción de caminar.



transferencia de calor radiante. Otra razón es que el aire atrapado entre capas superpuestas de distintas prendas de vestir y un único traje puede ser diferente. De hecho, la difusión de vapor y la transferencia de calor se tratan mejor por separado.

Estimaciones con modelos articulados

Existen modelos más sofisticados para calcular el aislamiento y la resistencia al vapor de agua que los métodos antes explicados. Tales modelos calculan el aislamiento local aplicando las leyes físicas a distintas partes del cuerpo y sumando para obtener el aislamiento intrínseco de todo el cuerpo humano. Para ello, la forma del cuerpo humano se aproxima a un conjunto de cilindros articulados (Figura 42.11). El modelo de McCullough, Jones y Tamura (1989) exige obtener datos sobre cada una de las capas que componen el conjunto de prendas, especificados por segmento del cuerpo. El modelo CLOMAN de Lotens y Havenith (1991) exige la entrada de un menor número de valores. Estos modelos tienen una exactitud similar y mejor que la de cualquiera de los otros métodos mencionados, con la excepción de la determinación experimental. No obstante, son modelos más

complejos de lo que sería deseable para que fueran ampliamente utilizados.

Efecto de la actividad física y el viento

Lotens y Havenith (1991) introdujeron también modificaciones, basadas en los datos publicados en la literatura, del aislamiento y la resistencia al vapor para tener en cuenta la actividad física y el viento. El aislamiento se reduce cuando la persona está sentada o de pie y esta reducción es mayor cuando mayor es el aislamiento proporcionado por la ropa. En cualquier caso, la actividad física reduce el aislamiento más que la postura, dependiendo del vigor de los movimientos. Al caminar se mueven los dos brazos y las dos piernas y el aislamiento se reduce más que cuando se monta en bicicleta, actividad en la que sólo se mueven las piernas. También en este caso, la reducción es mayor cuanto más gruesas sean las prendas de vestir. Cuanto más ligera sea la prenda, mayor será la reducción del aislamiento provocada por el viento. Tal vez esté en relación con la permeabilidad al aire de los tejidos interiores, que suelen ser prendas menos apropiadas para climas fríos.

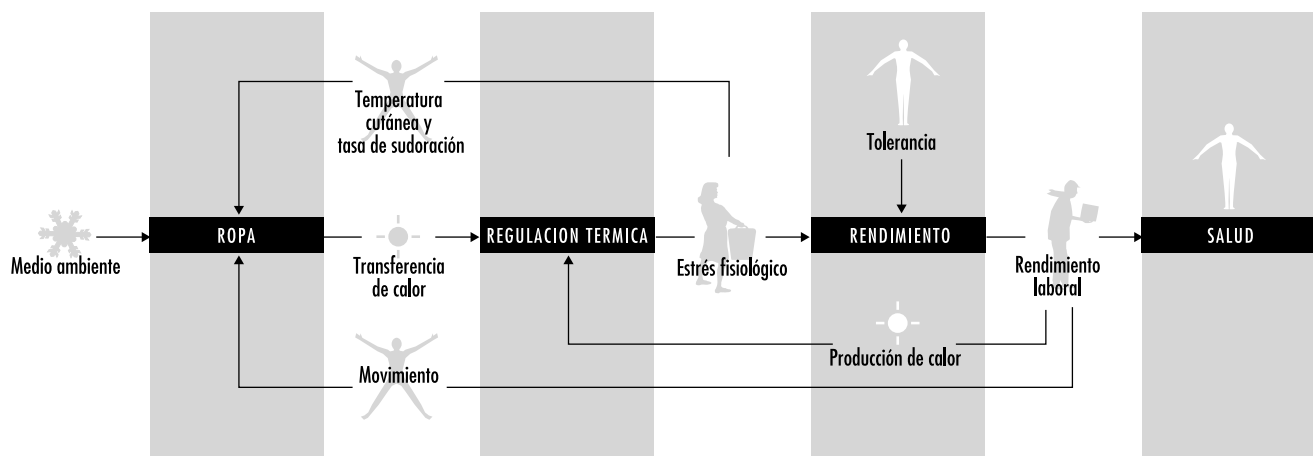
En la Figura 42.12 se muestran algunos efectos típicos del viento y el movimiento del cuerpo en la resistencia al vapor de la ropa para la lluvia. No existe consenso en la literatura sobre la magnitud de estos efectos. La importancia de esta cuestión se refleja en el hecho de que algunas normas, como la ISO 7730 (1994), exigen que se tenga en cuenta el aislamiento resultante cuando se aplican a personas activas o a personas expuestas a un movimiento importante del aire, un requisito ignorado con frecuencia.

Control de la humedad

Efectos de la absorción de humedad

Cuando los tejidos pueden absorber vapor de agua, como es el caso de la mayoría de las fibras naturales, la ropa actúa como un regulador del vapor. Tal propiedad altera la transferencia de calor cuando se pasa de un ambiente a otro. Cuando una persona que lleva ropa no absorbente pasa de un ambiente seco a un ambiente húmedo, la evaporación de sudor se reduce bruscamente. Si utiliza ropa higroscópica, el tejido absorbe vapor y el cambio en la evaporación se produce de manera gradual. Al mismo tiempo, el proceso de absorción libera calor al tejido, aumentando su temperatura. De esta forma se reduce la transferencia de calor seco desde la piel. En una primera aproximación, ambos efectos se anulan entre sí, de manera que la transferencia

Figura 42.13 • Descripción general de un modelo térmico dinámico.



total de calor no experimenta cambios. La diferencia con los trajes no higroscópicos es el cambio más gradual en la evaporación del sudor en la piel y, por consiguiente, un menor riesgo de acumulación de sudor.

Capacidad de absorción de vapor

La capacidad de absorción de un tejido depende del tipo de fibra y de la masa de tejido. La masa absorbida es aproximadamente proporcional a la humedad relativa, aunque mayor por encima del 90 %. La capacidad de absorción (llamada *recuperación*) se expresa como la cantidad de vapor de agua que absorben 100 g de fibra seca con una humedad relativa del 65 %. Los tejidos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *absorción pequeña*: tejidos acrílicos, poliéster (entre 1 y 2 g por 100 g)
- *absorción intermedia*: nylon, algodón, acetato (entre 6 y 9 g por 100 g)
- *absorción grande*: seda, lino, cáñamo, rayón, yute, lana (entre 11 y 15 g por 100 g).

Absorción de agua

La retención de agua en los tejidos, muchas veces confundida con la absorción de vapor, obedece a reglas diferentes. El agua libre se une débilmente a los tejidos y se difunde en todas las direcciones a través de capilares. Es un proceso conocido como "mecha". La transferencia de líquido de una capa a otra tiene lugar sólo en tejidos húmedos y bajo presión. La ropa puede humedecerse por el sudor no evaporado (superfluo) que se absorbe de la piel. El contenido de líquido de un tejido puede ser elevado y su evaporación posterior pone en peligro el equilibrio térmico. Suele ocurrir durante los períodos de descanso después de un trabajo intenso y se conoce como *enfriamiento tardío*. La capacidad de retención de líquido de los tejidos depende más de la construcción del tejido que de la capacidad de absorción de la fibra, y en la práctica es normalmente suficiente con que absorba el sudor superfluo.

Condensación

La ropa puede humedecerse por condensación del sudor evaporado en una determinada capa. La condensación se produce cuando la humedad es mayor de lo que permite la temperatura local. En climas calurosos, esto ocurre generalmente en el interior del tejido exterior, mientras que en climas de frío extremo ocurre incluso en las capas más profundas. La condensación hace que se acumule humedad, pero también aumenta la temperatura, como ocurre con la absorción. No obstante, la diferencia entre condensación y absorción es que ésta es un proceso que dura poco, mientras que la condensación puede prolongarse mucho más tiempo. La transferencia de calor latente durante la condensación puede realizar una importante contribución a la termolisis, un efecto no siempre deseable. La acumulación de humedad es en la mayoría de los casos una desventaja, debido a las molestias que produce y al riesgo de un enfriamiento tardío. En caso de intensa condensación, el líquido puede alcanzar de nuevo la piel y evaporarse otra vez. Es un ciclo que funciona como un tubo isotérmico y puede reducir considerablemente el aislamiento proporcionado por la ropa interior.

Simulación dinámica

Desde principios de siglo se han desarrollado numerosas normas e índices para clasificar las prendas de vestir y los climas. Casi todos ellos se referían a estados estables, condiciones en las que el clima y el trabajo se mantienen el tiempo suficiente como para que la persona conserve una temperatura corporal constante.

Hoy en día es raro que se produzca, como consecuencia de la mejora de las condiciones de trabajo y la medicina del trabajo. La atención se centra ahora en las exposiciones cortas a circunstancias extremas, casi siempre como consecuencia de una política calamitosa en materia de prendas protectoras.

Por ello son necesarias las simulaciones dinámicas de la transferencia de calor a través de la ropa y el estrés térmico del portador (Gagge, Fobelets y Berglund 1986). Pueden realizarse con modelos informáticos dinámicos en un escenario concreto. Entre los modelos más sofisticados que existen en la actualidad destaca el THDYN (Lotens 1993), que permite una gran diversidad de especificaciones de prendas de vestir y que ha sido actualizado para considerar las características individuales de la persona simulada (Figura 42.13). En el futuro tendrán que proponerse nuevos modelos, pero lo que realmente se necesita es una evaluación experimental más amplia y la aplicación de esos modelos por parte de los expertos. Los modelos dinámicos basados en la termofísica y la transferencia de masas incorporan todos los mecanismos de transferencia de calor y sus interacciones (absorción de vapor, calor de fuentes radiantes, condensación, ventilación, acumulación de humedad, etc.) para una gran variedad de prendas de vestir, incluidas las de diario, de trabajo o protectoras.

AMBIENTES FRIOS Y TRABAJO CON FRIO

Ingvar Holmér, Per-Ola Granberg y Goran Dahlstrom

Un ambiente frío se define por unas condiciones que causan pérdidas de calor corporal mayores de lo normal. En este contexto, "normal" se refiere a lo que una persona experimenta en la vida diaria en condiciones termoneutras, normalmente en interiores, aunque es un concepto que puede variar en función de factores sociales, económicos o climáticos. Para los fines de este artículo, se considerarán fríos los ambientes con una temperatura inferior a 18 o 20 °C.

El trabajo en ambientes fríos engloba diversas actividades industriales y laborales en diferentes condiciones climáticas (véase la Tabla 42.23). En la mayoría de los países, el sector de la alimentación exige que el trabajo se realice en condiciones frías, normalmente entre 2 y 8 °C para los alimentos frescos y por debajo de -25 °C para los alimentos congelados. En unos ambientes fríos artificiales como éstos, las condiciones están relativamente bien definidas y la exposición es más o menos la misma de un día para otro.

En muchos países, los cambios climáticos estacionales implican que el trabajo al aire libre o en interiores sin calefacción tiene que realizarse durante períodos más o menos largos en condiciones de frío. La exposición al frío puede variar considerablemente en diferentes lugares del planeta y según el tipo de trabajo (véase la Tabla 42.23). El agua fría constituye otro peligro al que se enfrentan las personas que, por ejemplo, trabajan en alta mar. En este artículo se describen las respuestas al estrés por frío y las medidas preventivas. Más adelante en este mismo capítulo se describen los métodos para evaluar el estrés por frío y los límites permisibles de temperatura según las normas internacionales recientemente adoptadas.

Estrés por frío y trabajo en ambientes fríos

El estrés por frío puede estar presente de muchas formas diferentes, afectando al equilibrio térmico de todo el cuerpo, así como al equilibrio térmico local de las extremidades, la piel y los

pulmones. El tipo y la naturaleza del estrés por frío se describen con detalle más adelante. Los mecanismos naturales de respuesta al estrés por frío se basan en la adaptación de comportamiento, en particular, cambio y ajuste de la ropa. Una protección suficiente permite evitar el enfriamiento corporal. Sin embargo, la protección en sí misma puede ocasionar efectos adversos no deseados. El problema se ilustra en la Figura 42.14.

El enfriamiento de todo el cuerpo o de algunas partes del mismo origina molestias, insensibilidad, disfunción neuromuscular y, en última instancia, lesiones por frío. Las molestias causadas por el frío suelen ser un estímulo potente para una adaptación de la conducta que reduzca o limite su efecto. La prevención del enfriamiento mediante el uso de prendas de abrigo, calzado, guantes y gorros o cascos interfiere con la movilidad y la destreza del trabajador. Puede hablarse de un "coste de la protección" en términos de una mayor restricción del movimiento y un mayor agotamiento. La necesidad continua de ajustar los equipos para mantener un alto nivel de protección exige atención y capacidad de juicio y puede comprometer factores como la vigilancia y el tiempo de reacción. Uno de los objetivos principales de la investigación ergonómica es mejorar la funcionalidad de las prendas de vestir manteniendo al mismo tiempo la protección contra el frío.

En consecuencia, los efectos del trabajo en ambientes fríos deben dividirse en:

- efectos del enfriamiento corporal,
- efectos de las medidas protectoras ("coste de la protección").

En ambientes fríos, la adaptación del comportamiento reduce el efecto del frío y, en definitiva, permite mantener el equilibrio térmico normal y la sensación de bienestar. Una adaptación inadecuada provocará reacciones termorreguladoras de compensación fisiológica (vasoconstricción y escalofríos). La acción combinada de la adaptación del comportamiento y fisiológica determina el efecto resultante del estrés por frío.

En las siguientes secciones se describen estos efectos, que pueden dividirse en efectos agudos (los que ocurren en el plazo

Figura 42.14 • Ejemplos de los efectos del frío.

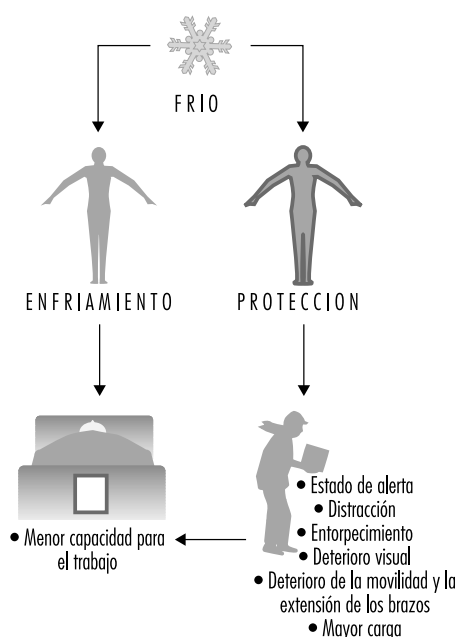


Tabla 42.13 • Duración del estrés por frío descompensado y reacciones asociadas.

Duración	Efectos fisiológicos	Efecto psicológico
Segundos	Boqueo inspiratorio Hiperventilación Aumento de la frecuencia cardíaca Vasoconstricción periférica Elevación de la presión arterial	Sensación cutánea, malestar
Minutos	Enfriamiento de los tejidos Enfriamiento de las extremidades Deterioro neuromuscular Tiritona Congelación por contacto y convección	Reducción del rendimiento Dolor por enfriamiento local
Horas	Menor capacidad para el trabajo físico Hipotermia Lesiones por frío	Deterioro de la función mental
Días/meses	Lesiones por frío sin congelación Aclimatación	Habitación Menores molestias
Años	Efectos tisulares crónicos (?)	

de minutos u horas), efectos de larga duración (que se prolongan durante días o incluso años) y otros efectos (no directamente relacionados con las reacciones al frío *per se*). En la Tabla 42.13 se ofrecen ejemplos de reacciones según la duración de la exposición al frío. Lógicamente, los tipos de respuestas y su magnitud dependen en gran medida del nivel de estrés. Con todo, las exposiciones de larga duración (durante días o más tiempo) rara vez alcanzan los mismos niveles que las exposiciones agudas.

Efectos agudos del enfriamiento

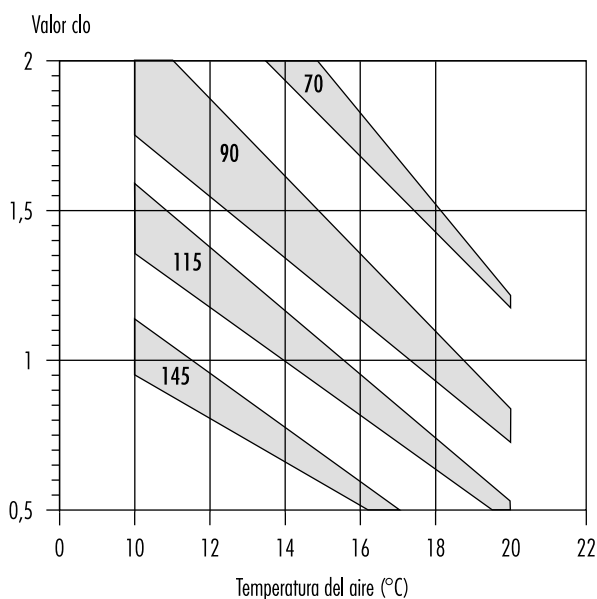
El efecto más evidente y directo del estrés por frío es el enfriamiento inmediato de la piel y las vías respiratorias superiores. La respuesta de los termorreceptores desencadena una secuencia de reacciones termorreguladoras. El tipo y la magnitud de la reacción depende sobre todo del tipo y el grado de enfriamiento. Como ya se ha mencionado, los principales mecanismos de defensa son la vasoconstricción periférica y los escalofríos. Ambos contribuyen a conservar el calor corporal y la temperatura interna del organismo, pero comprometen las funciones cardiovascular y neuromuscular.

Ahora bien, los efectos fisiológicos de la exposición al frío también modifican las reacciones fisiológicas a través de mecanismos complejos y en parte desconocidos. Los ambientes fríos causan distracción en el sentido de que se necesita un mayor esfuerzo mental para enfrentarse a los nuevos factores de estrés (evitar el enfriamiento, adoptar medidas de protección, etc.). Por otra parte, el frío causa también un estado de alerta, en el sentido de que aumentan los niveles de actividad nerviosa simpática y, por consiguiente, la preparación para la acción. En condiciones normales, las personas utilizan sólo una pequeña parte de su capacidad, reservando por tanto la mayor parte de la misma para hacer frente a condiciones inesperadas o extremas.

Percepción del frío y bienestar térmico

La mayoría de los seres humanos experimentan una sensación de neutralidad térmica a una temperatura operativa de entre 20 y 26 °C cuando realizan un trabajo muy ligero o sedentario (trabajo de oficina a 70 W/m²) con la ropa adecuada (valores de aislamiento entre 0,6 y 1,0 clo). En este estado y en ausencia de desequilibrios térmicos locales, como corrientes de aire, las

Figura 42.15 • Temperatura óptima para el “bienestar” térmico dependiendo de la ropa y del nivel de actividad física (W/m^2).



personas se encuentran en un estado de bienestar térmico. Son condiciones que se describen y especifican con detalle en normas como ISO 7730 (véase el capítulo *Control ambiental de interiores* en esta *Enciclopedia*).

La percepción humana del frío está estrechamente relacionada con el equilibrio térmico de todo el cuerpo, así como con el equilibrio térmico local de los tejidos. La sensación de malestar por frío aparece cuando el equilibrio térmico del organismo no puede mantenerse como consecuencia de una ropa poco adecuada para el nivel de actividad física (producción de calor metabólico). Con temperaturas de entre +10 y +30 °C, la magnitud del “malestar por frío” en una población puede predecirse utilizando la ecuación del bienestar de Fanger descrita en ISO 7730.

Una fórmula simplificada y razonablemente exacta para calcular la temperatura termoneutra (t) para una persona normal es:

$$t = 33,5 - 3 \cdot I_{cl} - (0,08 + 0,05 \cdot I_{cl}) \cdot M$$

en donde M es el calor metabólico medido en W/m^2 e I_{cl} el valor del aislamiento proporcionado por la ropa medido en clo.

El aislamiento que debe proporcionar la ropa (valor clo) es mayor a +10°C que el calculado con el método IREQ (valor calculado del aislamiento requerido) (ISO TR 11079, 1993). La razón de esta discrepancia es la aplicación de criterios diferentes de “bienestar” en los dos métodos. ISO 7730 se centra principalmente en el bienestar térmico y permite una sudoración considerable, mientras que ISO TR 11079 contempla sólo una sudoración de “control” a niveles mínimos, necesaria en ambientes fríos. En la Figura 42.15 se muestra la relación entre el aislamiento proporcionado por la ropa, el nivel de actividad física (producción de calor) y la temperatura ambiente según la ecuación anterior y el método IREQ. Las áreas sombreadas corresponden a la variación esperada en el aislamiento requerido de la ropa como resultado de niveles diferentes de “bienestar”.

La información contenida en la Figura 42.15 sirve sólo como orientación para establecer las condiciones térmicas óptimas en ambientes interiores. Existe una variación considerable en la

percepción que cada persona tiene del bienestar térmico y el malestar por frío. La variación se debe a diferencias en la ropa y el nivel de actividad física, aunque también contribuyen las preferencias subjetivas y la habituación.

En particular, las personas que realizan una actividad muy ligera o sedentaria se hacen cada vez más susceptibles al enfriamiento local cuando la temperatura ambiente desciende por debajo de 20 o 22 °C. En tales condiciones, la velocidad del aire debe mantenerse reducida (por debajo de 0,2 m/s) y tienen que utilizarse prendas aislantes adicionales para cubrir las partes más sensibles del cuerpo (como cabeza, cuello, espalda y tobillos). El trabajo sentado con temperaturas inferiores a 20 °C requiere un asiento y un respaldo aislantes para reducir el enfriamiento local causado por la compresión de las prendas de vestir.

Cuando la temperatura ambiente desciende por debajo de 10 °C, el concepto de bienestar es más difícil de aplicar. Las asimetrías térmicas se hacen “normales” (p. ej., rostro frío e inhalación de aire frío). Aunque exista un equilibrio térmico corporal óptimo, estas asimetrías pueden ocasionar molestias y exigir una fuente de calor adicional para eliminarlas. El bienestar térmico en ambientes fríos, al contrario que en ambientes interiores térmicamente neutros, suele coincidir con una ligera sensación de calor, un hecho que debe recordarse a la hora de evaluar el estrés por frío utilizando el índice IREQ.

Rendimiento

La exposición al frío y las reacciones fisiológicas y de conducta asociadas influyen en el rendimiento humano a distintos niveles de complejidad. En la Tabla 42.14 se presenta un esquema de los diferentes tipos de efectos en el rendimiento que pueden preverse con una exposición leve o extrema al frío.

En este contexto, la exposición leve produce un enfriamiento nulo o despreciable del interior del cuerpo y un enfriamiento moderado de la piel y las extremidades. La exposición severa produce un equilibrio térmico negativo, un descenso de la temperatura interna y una marcada reducción de la temperatura de las extremidades.

Las características físicas de la exposición leve o intensa al frío dependen mucho del equilibrio entre la producción interna de calor corporal (como resultado del trabajo físico) y la pérdida de calor. Las prendas protectoras y las condiciones climáticas determinan la cantidad de calor perdido.

Como ya se ha mencionado antes, la exposición al frío causa distracción y enfriamiento (Figura 42.14). Ambos influyen en el rendimiento laboral, aunque la magnitud de efecto varía según el tipo de trabajo.

Tabla 42.14 • Efectos esperados de la exposición a frío leve e intenso.

Rendimiento	Exposición leve al frío	Exposición intensa al frío
Rendimiento manual	0 –	--
Rendimiento muscular	0	–
Rendimiento aeróbico	0	–
Tiempo de reacción simple	0	–
Tiempo de reacción consciente	–	--
Seguimiento, vigilancia	0 –	–
Tareas cognitivas, mentales	0 –	--

0 indica ningún efecto; – indica deterioro; -- indica deterioro grave; 0 – indica observaciones contradictorias.

Tabla 42.15 • Importancia de la temperatura de los tejidos corporales para el rendimiento físico del ser humano.

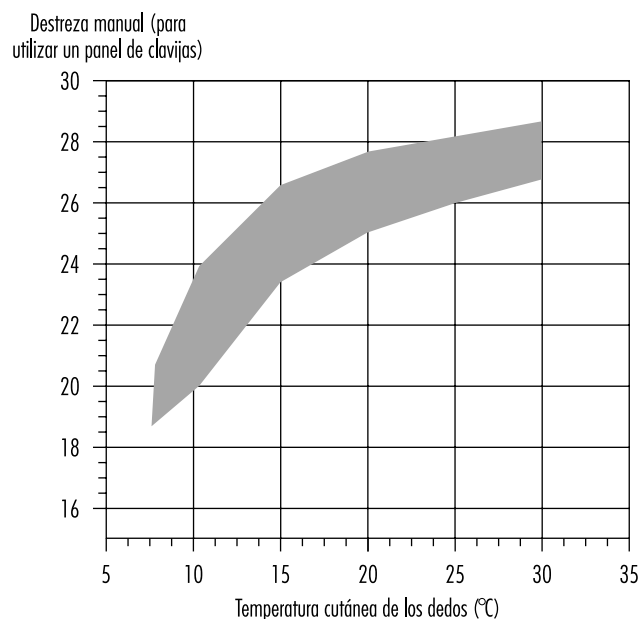
Rendimiento	Temperatura cutánea de manos/dedos	Temperatura cutánea media	Temperatura muscular	Temperatura del núcleo central
Tarea manual sencilla	-	0	-	0
Tarea manual compleja	--	(-)	--	-
Muscular	0	0-	--	0-
Aeróbico	0	0	-	--

0 indica ningún efecto; - indica deterioro con descenso de la temperatura; -- indica deterioro grave; 0- indica observaciones contradictorias; (-) indica posibilidad de un pequeño efecto.

La conducta y la función mental son más susceptibles al efecto de la distracción, mientras que el rendimiento físico se ve más afectado por el enfriamiento. La compleja interacción de las respuestas fisiológicas y psicológicas (distracción, estado de alerta) a la exposición al frío no se conoce bien y en el futuro tendrán que realizarse más investigaciones en este campo.

En la Tabla 42.15 se indican las relaciones observadas entre el rendimiento físico y las temperaturas del organismo. Se supone que el rendimiento físico depende en gran medida de la temperatura de los tejidos y disminuye cuando la temperatura de los tejidos y órganos vitales desciende. Normalmente, la destreza manual depende críticamente de la temperatura de los dedos y las manos, así como del músculo del antebrazo. La locomotricidad gruesa se ve poco afectada por la temperatura superficial local, pero es muy sensible a la temperatura muscular. Puesto que algunas de estas temperaturas están relacionadas entre sí

Figura 42.16 • Relación entre destreza manual y temperatura cutánea de los dedos.



Fuente: Daanen 1993.

(p. ej., la temperatura interna y muscular), es difícil establecer relaciones directas.

El resumen de los efectos en el rendimiento que se ofrecen en las Tablas 42.14 y 42.15 es necesariamente muy esquemático. Tal información debería servir como base para la acción, entendiendo por acción una evaluación detallada de las condiciones ambientales o la adopción de medidas preventivas.

Un importante factor que contribuye a reducir el rendimiento es la duración de la exposición. Cuando más dure la exposición al frío, mayor será el efecto en los tejidos profundos y en la función neuromuscular. Por otra parte, factores como la habituación y la experiencia modifican los efectos nocivos y permiten recuperar en parte el nivel de rendimiento.

Rendimiento manual

Las manos son muy sensibles a la exposición al frío. Debido a su pequeña masa y a su gran superficie, las manos y los dedos pierden mucho calor a pesar de mantener unas temperaturas tisulares elevadas (entre 30 y 35 °C). En consecuencia, esas temperaturas elevadas sólo pueden mantenerse con un alto nivel de producción interna de calor que permita un flujo sanguíneo elevado y sostenido a las extremidades.

La pérdida de calor en las manos puede reducirse en ambientes fríos utilizando unos guantes apropiados. Desde luego, unos buenos guantes para proteger del frío tienen necesariamente grosor y volumen y, en consecuencia, deterioran la destreza manual. Por consiguiente, el rendimiento manual en ambientes fríos no puede conservarse con medidas pasivas. En el mejor de los casos, la reducción del rendimiento puede limitarse si se llega a un compromiso equilibrado entre la elección de unos guantes funcionales, la conducta en el trabajo y un régimen adecuado de exposición al frío.

El funcionamiento de las manos y los dedos depende de las temperaturas tisulares locales (Figura 42.16). Los movimientos finos, delicados y rápidos de los dedos se entorpecen cuando la temperatura de los tejidos desciende tan sólo unos grados. Con un enfriamiento más profundo y un descenso de la temperatura, la locomotricidad gruesa también se deteriora. La destreza manual se deteriora considerablemente con unas temperaturas cutáneas de unos 6 a 8 °C como consecuencia del bloqueo de los receptores sensoriales y térmicos de la piel. Dependiendo de los requisitos del trabajo, es posible que tenga que medirse la temperatura cutánea en varios lugares de las manos y los dedos. La temperatura en la punta de los dedos puede descender más de diez grados comparada con la temperatura del dorso de la mano en ciertas condiciones de exposición. En la Figura 42.17 se indican las temperaturas críticas para diferentes tipos de efectos en la destreza manual.

Rendimiento neuromuscular

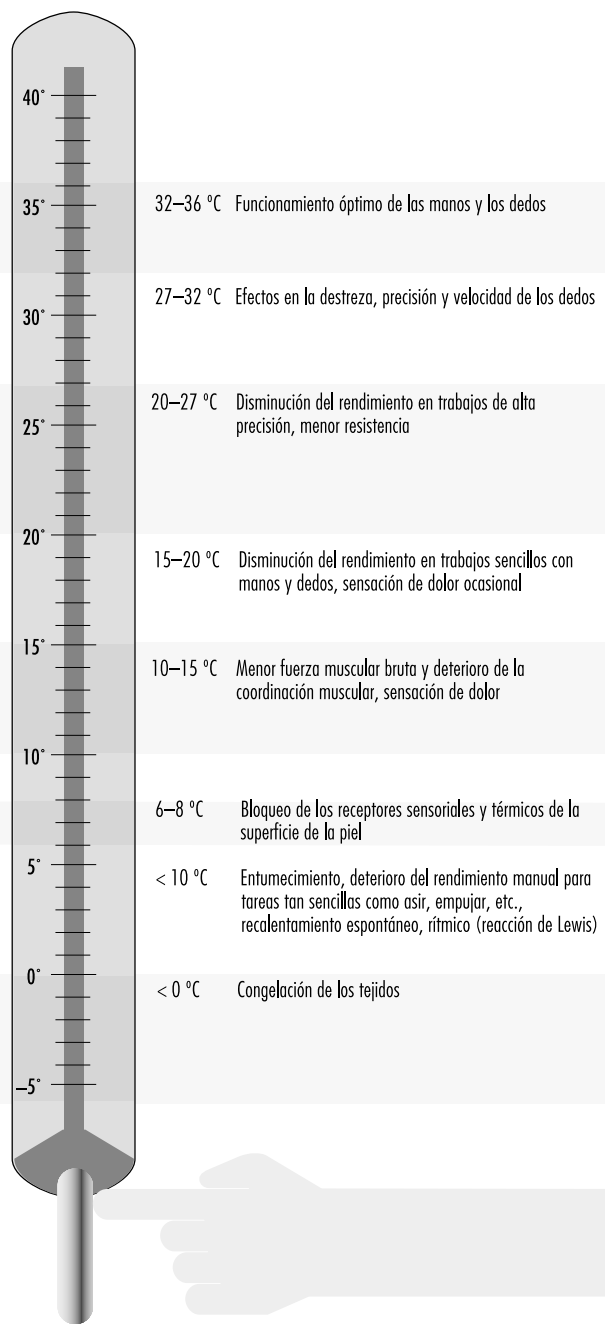
De las Figuras 42.16 y 42.17 se deduce que el frío tiene un efecto pronunciado en la función y el rendimiento muscular. El enfriamiento del tejido muscular reduce el flujo sanguíneo y hace más lentos algunos procesos neuronales, como la transmisión de señales nerviosas y la función sináptica. Además, aumenta la viscosidad de los tejidos y la fricción interna con el movimiento.

La producción de fuerza isométrica se reduce un 2 % por cada °C que desciende la temperatura muscular. La producción de fuerza dinámica se reduce entre un 2 y un 4 % por cada °C que desciende la temperatura muscular. En otras palabras, el enfriamiento reduce la fuerza muscular y tiene un efecto incluso mayor en las contracciones dinámicas.

Capacidad física para el trabajo

Como ya se ha mencionado antes, el rendimiento muscular disminuye con el frío. Cuando la función muscular se deteriora,

Figura 42.17 • Efectos brutos estimados en la destreza manual con diferentes niveles de temperatura de manos y dedos.



se produce también un deterioro general de la capacidad física para el trabajo. Un factor que contribuye a este deterioro de la capacidad para el trabajo aeróbico es la mayor resistencia periférica de la circulación sistémica. La vasoconstricción pronunciada aumenta la circulación central, pudiendo causar diuresis por frío y elevación de la presión arterial. El enfriamiento del interior del cuerpo puede también tener un efecto directo en la contractibilidad del músculo cardíaco.

La capacidad para el trabajo, medida por la capacidad aeróbica máxima, se reduce entre un 5 y un 6 % por cada °C que desciende la temperatura interna. Así, la resistencia puede disminuir rápidamente como consecuencia de una menor capacidad máxima y los mayores requisitos energéticos del trabajo muscular.

Otros efectos del frío

Temperaturas corporales

Al descender la temperatura, la superficie del cuerpo es la que se ve más afectada (y también la más tolerante). La temperatura cutánea puede descender por debajo de 0 °C durante unos segundos cuando la piel entra en contacto con superficies metálicas muy frías. Igualmente, la temperatura de las manos y los dedos puede descender varios grados por minuto en condiciones de vasoconstricción o con una mala protección. Con temperaturas cutáneas normales, las derivaciones arteriovenosas hacia la periferia hacen que aumente la irrigación de brazos y manos. De esta forma aumenta su temperatura y mejora la destreza manual. Cuando la piel se enfría, estas derivaciones se cierran y se reduce la perfusión de manos y pies a casi la décima parte. Las extremidades constituyen el 50 % de la superficie corporal y el 30 % de su volumen. El retorno sanguíneo se produce por venas profundas que discurren paralelas a las arterias, de manera que la pérdida de calor se reduce por el principio de la contracorriente.

La vasoconstricción adrenérgica no afecta a la región de la cabeza y el cuello, un hecho que tiene que tenerse en cuenta en situaciones de emergencia para prevenir la hipotermia. Una persona con la cabeza al descubierto puede perder un 50 % o más de su producción de calor en reposo a temperaturas por debajo de cero.

Para que se produzca hipotermia (descenso de la temperatura interna) tiene que existir un nivel elevado y sostenido de pérdida de calor de todo el cuerpo (Maclean y Emslie-Smith 1977). El equilibrio entre la producción y la pérdida de calor determina la velocidad del enfriamiento resultante, ya afecte a todo o a una parte del cuerpo. Las condiciones necesarias para alcanzar el equilibrio térmico pueden analizarse y evaluarse utilizando el índice IREQ. Una respuesta marcada al enfriamiento local de las partes que más sobresalen del cuerpo humano (p. ej., dedos de la mano, dedos del pie y orejas) es el llamado fenómeno de pendulación (reacción de Lewis). Tras un descenso inicial brusco, la temperatura de los dedos aumenta varios grados (Figura 42.18). Tal reacción se repite de manera cíclica. La respuesta es muy local, más pronunciada en la punta de los dedos que en su base e inexistente en la mano. La respuesta de la palma de la mano refleja mejor la variación de la temperatura del flujo sanguíneo en los dedos. La respuesta puede modificarse por exposición repetida (amplificada), pero prácticamente se suprime cuando se produce el enfriamiento de todo el cuerpo.

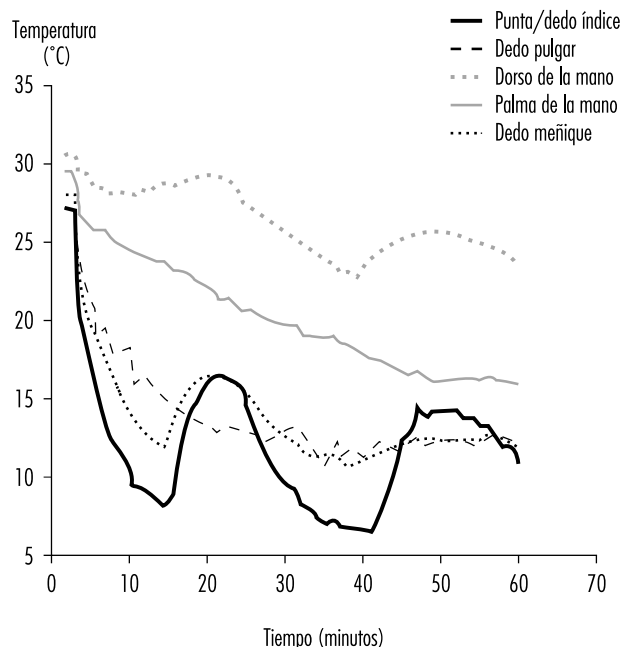
El enfriamiento progresivo del cuerpo produce una serie de efectos fisiológicos y mentales. En la Tabla 42.16 se indican algunas de las respuestas típicas asociadas a diferentes niveles de temperatura interna.

Corazón y circulación

El enfriamiento de la frente y la cabeza provoca una elevación brusca de la presión arterial sistólica y, en definitiva, un aumento de la frecuencia cardíaca. Una reacción similar se observa cuando se sumergen las manos desnudas en agua muy fría. La reacción es de corta duración y al cabo de unos segundos o minutos se recuperan unos valores normales o ligeramente elevados.

La pérdida excesiva de calor corporal produce vasoconstricción periférica. En particular, durante la fase transitoria, el

Figura 42.18 • La vasodilatación inducida por el frío de los vasos sanguíneos de los dedos produce un aumento cíclico de la temperatura tisular.



aumento de la resistencia periférica produce una elevación de la presión arterial sistólica y de la frecuencia cardíaca. El corazón tiene que trabajar más que para realizar actividades similares a temperaturas normales, un fenómeno que experimentan dolorosamente las personas con angina de pecho.

Como ya se ha mencionado antes, el enfriamiento de los tejidos profundos suele hacer más lentos los procesos fisiológicos de células y órganos. El enfriamiento debilita el proceso de inervación y suprime las contracciones del corazón. La fuerza de las contracciones se reduce y, además de aumentar la resistencia periférica de los vasos sanguíneos, el gasto cardíaco también se reduce. En cualquier caso, con una hipotermia moderada o severa, la función cardiovascular disminuye por la reducción general del metabolismo.

Pulmones y vías aéreas

La inhalación de volúmenes moderados de aire seco y frío no plantea grandes problemas a las personas sanas. El aire muy frío puede ocasionar molestias, sobre todo en la nariz. Unos elevados niveles de ventilación de aire muy frío pueden también causar microinflamación de la membrana mucosa de las vías respiratorias superiores.

A medida que progresa la hipotermia, se deprime la función pulmonar al mismo tiempo que se produce una reducción general del metabolismo.

Aspectos funcionales (capacidad de trabajo)

Un requisito fundamental para el funcionamiento en ambientes fríos es disponer de protección suficiente contra el frío. Ahora bien, la protección en sí misma puede interferir gravemente con las condiciones necesarias para un buen rendimiento. Las prendas de abrigo tienen un efecto entorpecedor bien conocido. El uso de prendas protectoras para la cabeza interfiere con el habla y la visión y el uso de guantes deteriora la destreza manual. Aunque la protección es necesaria para mantener unas

condiciones de trabajo saludables y confortables, las consecuencias en términos de disminución del rendimiento deben ser también tenidas en cuenta. Se precisa más tiempo para realizar las mismas tareas y éstas exigen un esfuerzo mayor.

Las prendas de abrigo fácilmente pueden pesar entre 3 y 6 kilos, incluido el calzado y las prendas para la cabeza. Es un peso que aumenta la carga de trabajo, en particular cuando el trabajo es deambulante. Asimismo, la fricción entre las distintas capas de ropa genera resistencia al movimiento. El calzado no debe pesar en exceso, puesto que el peso añadido a las piernas tiene una mayor contribución relativamente mayor en la carga de trabajo.

La organización del trabajo, el lugar de trabajo y los equipos utilizados deben adaptarse a los requisitos específicos del trabajo en ambientes fríos. Debe permitirse más tiempo para realizar las tareas y programar descansos frecuentes para que los trabajadores puedan recuperarse y calentarse. El lugar de trabajo debe permitir un movimiento fácil del trabajador, a pesar de que éste utilice prendas abultadas. Igualmente, los equipos deben estar diseñados para que puedan ser manejados con guantes o estar

Tabla 42.16 • Respuestas del ser humano al enfriamiento: reacciones indicativas a diferentes niveles de hipotermia.

Fase	Temperatura del núcleo (°C)	Reacciones fisiológicas	Reacciones psicológicas
Normal	37	Temperatura corporal normal	Sensación de neutralidad térmica
	36	Vasoconstricción, enfriamiento de manos y pies	Malestar
Hipotermia leve	35	tiritona intensa, menor capacidad para el trabajo	Deterioro de la función mental, desorientación, apatía
	34	Fatiga	Consciencia normal y capacidad de respuesta
	33	Torpeza y balbuceos	
	32	Rigidez muscular	Perdida progresiva de la consciencia, alucinaciones
Hipotermia moderada	31	Respiración débil	Escasos momentos de consciencia
	30		Letargo
	29	Ausencia de reflejos nerviosos, disminución de la frecuencia cardíaca y dificultad para detectar el pulso	
	28	Arritmias cardíacas (auriculares y/o ventriculares)	
	27	Ausencia de reacción de las pupilas a la luz, ausencia de reflejos tendinosos profundos y superficiales	
Hipotermia severa	25	Muerte por fibrilación ventricular o asistole	

provistos de algún tipo de aislamiento en el caso de que tengan que manejarse con las manos desnudas.

Lesiones por frío

Las graves lesiones producidas por el aire frío pueden prevenirse en la mayoría de los casos y sólo ocurren esporádicamente en la vida normal, aunque tienen una gran importancia en las guerras y cataclismos. Con todo, muchos trabajadores corren el riesgo de sufrir lesiones por frío en sus actividades rutinarias. Los trabajos realizados al aire libre en climas extremos (como en las regiones árticas o subárticas) —por ejemplo, pesca, agricultura, construcción, prospecciones de gas y petróleo o pastoreo de renos—, así como los trabajos realizados en interiores fríos (como en las industrias de la alimentación y el almacenaje) pueden exponer a los trabajadores al peligro de una lesión por frío.

Las lesiones por frío pueden ser sistémicas o localizadas. Las lesiones locales, que suelen preceder a la hipotermia sistémica, constituyen dos entidades clínicamente diferentes: lesiones por frío con congelación (LFCC) y lesiones por frío sin congelación (LFSC).

Lesiones por frío con congelación

Fisiopatología

Se trata de lesiones localizadas que se producen cuando la pérdida de calor es suficiente para ocasionar una verdadera congelación de los tejidos. Además del ataque criogénico directo a las células, el daño vascular causado por la menor perfusión y la hipoxia tisular son mecanismos patogénicos que contribuyen a la lesión.

La vasoconstricción de los vasos cutáneos tiene un gran importancia en el origen de una congelación. Como consecuencia de las grandes derivaciones arteriovenosas, la irrigación de las estructuras periféricas como las manos, los pies, la nariz y las orejas aumenta considerablemente en ambientes calurosos. Por ejemplo, sólo se necesita la décima parte del flujo sanguíneo en las manos para la oxigenación de los tejidos. El resto sirve para generar calor, facilitando así la destreza manual. Incluso aunque no se produzca un descenso de la temperatura interna, el enfriamiento local de la piel obstruye estas derivaciones arteriovenosas.

Para proteger la viabilidad de las partes periféricas de las extremidades durante la exposición al frío, se produce una vasodilatación intermitente inducida por el frío (VIIF) como resultado de la apertura de las anastomosis arteriovenosas y sucede cada 5 o 10 minutos. El fenómeno supone un compromiso en el plano fisiológico humano para conservar el calor y aún así preservar intermitentemente la función de las manos y los pies. La vasodilatación es percibida por la persona como sensación de comezón. La VIIF se hace menos pronunciada al descender la temperatura corporal. Las variaciones individuales en la VIIF podrían explicar la diferente susceptibilidad a las lesiones locales por frío. Las poblaciones indígenas de regiones frías presentan una VIIF más pronunciada.

En la criopreservación de tejidos vivos se produce la formación de cristales de hielo tanto en el espacio intracelular como extracelular; sin embargo, en las LFCC clínicas, con una velocidad de congelación mucho menor, sólo se forman cristales de hielo en el espacio extracelular. El proceso es exotérmico; es decir, libera calor. Por consiguiente, la temperatura del tejido se mantiene en el punto de congelación hasta que el proceso termina.

A medida que crecen los cristales de hielo en el espacio extracelular, el líquido extracelular se condensa, convirtiendo a este espacio en un medio hiperosmótico que provoca la difusión pasiva de agua desde el compartimiento intracelular, un agua que también se congela. El proceso continúa hasta que todo el agua "libre" (sin estar unida a proteínas, azúcares y otras moléculas) se ha cristalizado. La deshidratación de las células altera

las estructuras proteicas, los lípidos de las membranas y el pH celular, provocando una destrucción incompatible con la supervivencia celular. La resistencia a las LFCC varía según el tejido. La piel, por ejemplo, es más resistente que los músculos y los nervios, un hecho que podría deberse al menor contenido de agua en el espacio intracelular y extracelular de la epidermis.

En un principio se pensó que los factores hemorreológicos indirectos desempeñaban la misma función que en las lesiones por frío sin congelación. No obstante, recientes estudios en animales han demostrado que la congelación causa lesiones en la estructura de las arteriolas, vénulas y capilares antes de que aparezcan evidencias de lesiones en otros elementos de la piel. Por consiguiente, es evidente que el componente reológico de la patogénesis de las LFCC es también un efecto criobiológico.

Cuando un tejido congelado se recalienta, el agua se difunde de nuevo a las células deshidratadas, provocando turgencia intracelular. La descongelación produce una dilatación vascular máxima, con edema y formación de ampollas como consecuencia del daño sufrido por las células endoteliales (capa interna de la piel). La destrucción de la capa de células endoteliales deja al descubierto la membrana basal, que inicia las adhesiones plaquetarias y desencadena la cascada de la coagulación. El estancamiento de sangre y la trombosis que se producen a continuación provocan anoxia.

Al ser la pérdida de calor de la zona expuesta la que determina el riesgo de congelación, el enfriamiento causado por el viento es un factor de riesgo importante y se debe, no sólo al viento que sopla, sino también a cualquier movimiento de aire sobre el cuerpo. Correr, esquiar, patinar o conducir vehículos abiertos provocan dicho movimiento. Sin embargo, la carne expuesta no se congelará mientras la temperatura ambiente se mantenga por encima del punto de congelación, incluso aunque la velocidad del viento sea muy grande.

El consumo de alcohol y tabaco, así como la malnutrición y la fatiga, son factores que predisponen a una LFCC. Una lesión previa por frío aumenta el riesgo de LFCC posteriores, ya que se produce una respuesta simpática postraumática anormal.

Los metales fríos pueden causar rápidamente una congelación cuando se agarran con la mano desnuda. La mayoría de las personas son conscientes de este peligro, pero ignoran el riesgo que conlleva la manipulación de líquidos ultrafríos. La gasolina enfriada a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ congela la carne expuesta casi al instante, ya que la pérdida de calor evaporativo se combina con la pérdida por conducción. La rápida congelación produce cristalización extra e intracelular con destrucción de las membranas celulares principalmente por causas mecánicas. Un tipo similar de LFCC ocurre cuando se derrama propano líquido directamente sobre la piel.

Cuadro clínico

Las lesiones por frío con congelación se subdividen en congelación superficial y profunda. La lesión superficial se limita a la piel y a los tejidos subcutáneos que se encuentran inmediatamente por debajo. En la mayoría de los casos, este tipo de lesión afecta a la nariz, los lóbulos de las orejas, los dedos de las manos y los dedos de los pies. El primer síntoma suele ser un dolor punzante y agudo. La parte afectada de la piel palidece o adquiere un color blanco ceroso. Se entumece y se hunde al aplicar presión, ya que los tejidos subyacentes siguen estando vivos y conservan su flexibilidad. Cuando la LFCC progresa a una lesión profunda, la piel adquiere color blanco y aspecto mármoleo, se endurece y se adhiere al tocarla.

Tratamiento

Una congelación debe recibir cuidados inmediatamente para evitar que una lesión superficial se convierta en una lesión

profunda. La víctima debe ser trasladada a un refugio; si no existe ninguno en las proximidades, habrá que protegerla del viento con el cuerpo de los compañeros, un saco de dormir o algún otro medio similar. La zona congelada debe descongelarse por transmisión pasiva de calor de una parte más caliente del cuerpo. La mano calentada puede colocarse sobre el rostro y la mano fría en la axila o la ingle. Puesto que la persona congelada sufre estrés por frío con vasoconstricción periférica, el mejor tratamiento es el calor que pueda darle un compañero. El masaje y el frotamiento de la parte congelada con nieve o con una bufanda de lana está contraindicado. Son tratamientos mecánicos que sólo agravan la lesión, ya que el tejido está lleno de cristales de hielo. Tampoco debe intentarse la descongelación delante de un fuego de campamento o un hornillo de campo, ya que este tipo de calor no penetra en profundidad y al estar la zona parcialmente anestesiada, se puede producir una lesión por quemadura.

Las señales de dolor en un pie congelado desaparecen antes de que se produzca la congelación, ya que la conductividad del nervio se suprime a una temperatura de unos +8 °C. La paradoja es que la última sensación que la víctima tiene es que ¡no siente nada en absoluto! En condiciones extremas, cuando la evacuación exige viajar a pie, la descongelación debe evitarse. Caminar con un pie congelado no parece aumentar el riesgo de destrucción tisular, mientras que la recongelación de un tejido congelado lo aumenta al máximo.

El mejor tratamiento de una congelación es descongelarla en agua calentada a 40 o 42 °C. El procedimiento de descongelación debe continuar con agua a esa temperatura hasta que se recupere la sensibilidad, el color y la textura blanda del tejido. Es una forma de descongelación que suele producir un tinte más encarnado que rosa como consecuencia de la estasis venosa.

El tratamiento administrado sobre el terreno debe ir más allá de la descongelación local. Toda la persona debe recibir cuidados, ya que la congelación suele ser el primer síntoma de una hipotermia progresiva. Habrá que abrirla y hacerle beber líquidos calientes y nutritivos. Es probable que la víctima se muestre apática y sin fuerzas para cooperar. Debe insistirse en que realice actividades musculares, como golpear los brazos contra los laterales del cuerpo: así se abren las derivaciones arteriovenosas periféricas de las extremidades.

La congelación profunda se produce cuando la descongelación por transferencia de calor pasivo durante 20 o 30 minutos no tiene éxito. En ese caso, la víctima debe ser trasladada al hospital más cercano. No obstante, si dicho traslado puede durar varias horas, es preferible trasladar a la persona a la vivienda más cercana y descongelar sus lesiones con agua caliente. Una vez finalizada la descongelación, debe tumbarse al paciente con la zona lesionada elevada y organizar su traslado al hospital más cercano lo antes posible.

El recalentamiento rápido produce un dolor moderado o intenso y es probable que el paciente necesite algún analgésico. Las lesiones capilares producen extravasación de suero con tumefacción local y formación de ampollas durante las primeras 6-18 horas. Las ampollas deben mantenerse intactas para prevenir infecciones.

Lesiones por frío sin congelación

Fisiopatología

Los requisitos previos para sufrir una LFSC son la exposición prolongada a ambientes fríos y húmedos, aunque por encima de la temperatura de congelación, e inmovilización con estancamiento venoso. La deshidratación, una alimentación inadecuada, el estrés, enfermedades o lesiones concomitantes o la fatiga son factores que aumentan el riesgo. Las LFSC afectan casi exclusivamente a las piernas y a los pies. En la vida diaria no suelen

producirse lesiones graves de este tipo, pero en tiempos de guerra o cuando se producen catástrofes, son y siempre serán un grave problema, sobre todo por la dificultad de detectarlas como consecuencia de la aparición lenta de los síntomas, que al principio son poco específicos.

Las LFSC pueden aparecer cuando la temperatura ambiente es inferior a la corporal. Al igual que en las LFCC, las fibras contráctiles simpáticas y el frío en sí mismo producen una prolongada vasoconstricción. El proceso inicial es de naturaleza reológica y similar al observado en las lesiones por reperfusión isquémica. Además de la duración de la exposición a bajas temperaturas, la susceptibilidad de la víctima parece ser un factor importante.

El cambio patológico provocado por la lesión isquémica afecta a muchos tejidos. Los músculos se degeneran, sufriendo necrosis, fibrosis y atrofia; los huesos muestran una osteoporosis precoz. De especial interés son los efectos en los nervios, ya que las lesiones nerviosas producen dolor, disestesia prolongada e hiperhidrosis como secuelas frecuentes de estas lesiones.

Cuadro clínico

En una lesión por frío sin congelación, los síntomas iniciales son muy vagos y la víctima se da cuenta demasiado tarde del grave peligro que corre. Los pies se enfrían y se hinchan. La persona los siente pesados, acorchados y entumecidos. Le duelen y con frecuencia aparecen arrugas en la plantas. La primera fase isquémica dura entre unas horas y unos días. Va seguida por una fase hiperémica de entre 2 y 6 semanas, durante la cual los pies están calientes, con pulsos marcados y edema progresivo. No es raro que aparezcan ampollas, ulceraciones y, en algunos casos graves, gangrena.

Tratamiento

El tratamiento es sobre todo de apoyo. En el lugar de trabajo, los pies deben secarse con cuidado, pero manteniéndolos fríos. Por otra parte, todo el organismo debe calentarse. La persona debe recibir grandes cantidades de bebidas calientes. Al contrario que en el caso de las lesiones por frío con congelación, una LFSC nunca debe calentarse activamente. El tratamiento con agua caliente para recalentar las lesiones locales por frío sólo está permitido cuando se han formado cristales de hielo en los tejidos. Cualquier otro tratamiento debe ser, por regla general, conservador. Desde luego, la fiebre, los signos de coagulación intravascular diseminada y la licuefacción de los tejidos afectados requieren intervención quirúrgica, algunas veces con amputación.

Las lesiones por frío sin congelación pueden prevenirse casi siempre reduciendo el tiempo de exposición al mínimo. Es importante prestar a los pies los cuidados adecuados, tomándose el tiempo necesario para secarlos y disponiendo de instalaciones para cambiarse los calcetines por otros secos. El reposo con los pies levantados y la ingestión de bebidas calientes pueden parecer medidas ridículas, pero tienen una gran importancia.

Hipotermia

La hipotermia significa una temperatura corporal inferior a la normal. Ahora bien, desde el punto de vista térmico, el organismo consta de dos zonas: la periferia y el núcleo. La primera es superficial y su temperatura varía considerablemente según el ambiente externo. El núcleo consiste en los tejidos más profundos (p. ej., cerebro, corazón, pulmones y parte superior del abdomen), y el cuerpo intenta siempre mantener una temperatura interna de 37 ± 2 °C. Cuando la regulación térmica se deteriora y la temperatura interna empieza a descender, la persona sufre estrés por frío, pero hasta que la temperatura interna no alcanza 35 °C, no se considera que la víctima se encuentra en un estado de hipotermia. Entre los 35 y los 32 °C, la hipotermia se considera leve;

entre 32 y 28 °C, moderada y por debajo de 28 °C, severa (Tabla 42.16).

Efectos fisiológicos del descenso de la temperatura interna del organismo

Cuando la temperatura interna empieza a descender, se produce una intensa vasoconstricción que redirige la sangre de la periferia al núcleo, evitando así la conducción de calor del interior del cuerpo a la piel. Para mantener la temperatura, se provocan escalofríos, con frecuencia precedidos por un aumento del tono muscular. Una tiritona de intensidad máxima puede aumentar la tasa metabólica entre cuatro y seis veces, pero puesto que las contracciones involuntarias son de carácter oscilante, dicha tasa metabólica no suele aumentar a más del doble. La frecuencia cardíaca, la presión arterial, el gasto cardíaco y la frecuencia respiratoria aumentan. La centralización del volumen sanguíneo produce una diuresis osmolar con sodio y cloro como los principales componentes.

La irritabilidad auricular en las primeras fases de la hipotermia suele provocar fibrilación auricular. A temperaturas más bajas, son frecuentes las extrasístoles ventriculares. La muerte se produce a o por debajo de 28 °C, casi siempre como resultado de la fibrilación ventricular, aunque también puede sobrevenir una asístole.

La hipotermia deprime el sistema nervioso central. La lasitud y la apatía son los primeros síntomas de un descenso de la temperatura interna. Dichos efectos deterioran la capacidad de juicio, producen una conducta extraña y ataxia y terminan en letargo y coma a una temperatura de entre 30 y 28 °C.

La velocidad de conducción nerviosa se reduce al descender la temperatura. Las manifestaciones clínicas de este fenómeno son disartria, torpeza y dificultad del habla. El frío afecta también a los músculos y las articulaciones, deteriorando la destreza manual. Reduce el tiempo de reacción y la coordinación y aumenta la frecuencia de los errores. Incluso en las personas con hipotermia leve se observa rigidez muscular. A una temperatura interna inferior a 30 °C, la actividad física es imposible.

La exposición a un ambiente extremadamente frío es un requisito previo básico para que se produzca hipotermia. Los extremos de edad son un factor de riesgo. Las personas de edad avanzada con deterioro de la función termorreguladora, o las personas cuya masa muscular o cuya capa de grasa aislante están reducidas, corren un mayor riesgo de sufrir hipotermia.

Clasificación

Desde un punto de vista práctico, la hipotermia puede subdividirse en (véase también la Tabla 42.16):

- hipotermia accidental
- hipotermia aguda por inmersión
- hipotermia subaguda por agotamiento
- hipotermia en traumatismos
- hipotermia crónica subclínica.

La hipotermia aguda por inmersión se produce cuando una persona se sumerge en agua fría. El agua tiene una conductividad térmica unas 25 veces mayor que el aire. El estrés por frío se hace tan grande que la temperatura interna se ve obligada a descender a pesar de una producción máxima de calor corporal. La hipotermia se desencadena antes de que la persona sea víctima del agotamiento.

La hipotermia aguda por agotamiento puede ocurrirle a cualquier trabajador expuesto al frío, así como a esquiadores, escaladores y montañeros. En esta forma de hipotermia, la actividad muscular mantiene la temperatura corporal siempre que se disponga de fuentes de energía. Con todo, la hipoglucemia indica que la persona está en situación de riesgo. Incluso una exposición

relativamente leve al frío puede ser suficiente para que prosiga el enfriamiento y se produzca una situación peligrosa.

La hipotermia con traumatismo importante es un signo preocupante. La persona que ha sufrido el traumatismo es incapaz de mantener la temperatura interna y la pérdida de calor puede agravarse con la infusión de líquidos fríos y la retirada de las prendas de vestir. Los pacientes en situación de shock que desarrollan hipotermia tienen una mortalidad mucho mayor que las víctimas normotérmicas.

La hipotermia crónica subclínica afecta con frecuencia a personas de edad avanzada y suele asociarse a malnutrición, uso de ropa inadecuada y movilidad restringida. El alcoholismo, el abuso de drogas y las enfermedades metabólicas crónicas son factores que contribuyen a este tipo de hipotermia.

Tratamiento prehospitalario

El principio básico de la asistencia primaria que debe recibir un trabajador con hipotermia es evitar que pierda más calor. Si la víctima está consciente, debe ser trasladada a un refugio, o al menos a un lugar protegido. Se retirarán las prendas mojadas y se intentará proporcionarle el mayor aislamiento posible. Es fundamental mantener a la víctima en posición tumbada y con la cabeza cubierta.

Los pacientes con hipotermia aguda por inmersión requieren un tratamiento bastante diferente al de los pacientes con hipotermia subaguda por agotamiento. La víctima por inmersión suele encontrarse en una situación más favorable. El descenso de la temperatura interna se produce mucho antes de que el cuerpo sufra agotamiento y, por consiguiente, la capacidad de generar calor está intacta. El equilibrio hídrico y electrolítico no está alterado. Por consiguiente, estas personas pueden ser tratadas con una rápida inmersión en un baño caliente. Si no se dispone de una bañera, el paciente deberá introducir los pies y las manos en agua caliente. El calor local abre las derivaciones arteriovenosas, aumenta rápidamente la circulación sanguínea en la extremidades y acelera el proceso de calentamiento.

Por el contrario, en la hipotermia por agotamiento, la víctima se encuentra en una situación mucho más peligrosa. Las reservas calóricas se han consumido, el equilibrio electrolítico está alterado y, sobre todo, la persona está deshidratada. La diuresis por frío se inicia inmediatamente después de la exposición al frío: la lucha contra el frío y el viento aumenta la sudoración, aunque ésta no se percibe en un ambiente frío y seco; por último, la víctima no siente sed. El paciente con hipotermia por agotamiento no debe nunca ser recalentado rápidamente sobre el terreno o durante su traslado al hospital, debido al riesgo de que sufra un choque hipovolémico. Un estado prolongado de hipotermia estacionaria es preferible a los denodados esfuerzos por recalentar a la víctima en unas circunstancias que, de producirse complicaciones, éstas no podrán controlarse. Es fundamental mover al paciente con suavidad para reducir al mínimo el riesgo de una posible fibrilación ventricular.

Incluso al personal médico con la debida formación le resulta muchas veces difícil saber si una persona hipotérmica está viva o no. Un colapso cardiovascular aparente puede ser, en realidad, tan sólo una depresión del gasto cardíaco. En muchos casos es necesaria la palpación o auscultación durante al menos un minuto para detectar pulsos espontáneos.

La decisión de recurrir o no a la reanimación cardiopulmonar (RCP) es difícil de tomar sobre el terreno. Si existe algún signo de vida, la RCP está contraindicada. Las compresiones prematuras del tórax pueden provocar fibrilación ventricular. No obstante, la RCP debe iniciarse inmediatamente si se produce una parada cardíaca o cuando las circunstancias permiten realizar los procedimientos de una manera razonable y continua.

Salud y frío

Una persona sana, con la ropa y los equipos adecuados, y con una organización adecuada del trabajo, no se encuentra en una situación que ponga en riesgo su salud, incluso aunque el frío sea extremo. Sigue existiendo controversia sobre si la exposición al frío durante largos períodos de tiempo de las personas que viven en regiones frías supone un riesgo para la salud. La situación es bastante diferente en el caso de las personas con problemas de salud, en cuyo caso la exposición al frío puede ser un problema. En algunas situaciones, la exposición al frío o a factores relacionados con el frío o el efecto combinado del frío y otros riesgos pueden poner en peligro la salud, especialmente si se produce una situación de emergencia o un accidente. En zonas remotas, en donde la comunicación con un supervisor es difícil o imposible, los propios trabajadores tienen que decidir si existe o no una situación que ponga en peligro su salud. En estos casos, deberán tomar las precauciones necesarias para hacer segura la situación o interrumpir el trabajo.

En las regiones árticas, el clima y otros factores pueden ser tan extremos que obliguen a tener en cuenta otras consideraciones.

Enfermedades infecciosas. Las enfermedades infecciosas no están relacionadas con el frío. En regiones árticas y subárticas se producen enfermedades endémicas. Las enfermedades agudas o crónicas obligan a la persona a interrumpir su exposición al frío y el trabajo pesado.

El catarro común, sin fiebre ni síntomas generales, no hace que el trabajo en ambientes fríos sea nocivo. Ahora bien, en personas con complicaciones como asma, bronquitis o problemas cardiovasculares, la situación es diferente y se recomienda que no trabajen al aire libre durante la estación fría. Lo mismo puede decirse de las personas con catarro acompañado de fiebre, tos profunda, dolor muscular y deterioro general de su estado.

El asma y la bronquitis son frecuentes en las regiones frías. La exposición al frío suele agravar los síntomas. El cambio de medicación reduce en algunas ocasiones los síntomas durante la estación fría. Algunas personas mejoran con la administración de medicamentos inhalados.

Las personas con enfermedades asmáticas o cardiovasculares pueden responder a la inhalación de aire frío con broncoconstricción y vasoespasmo. Se han observado síntomas asmáticos en atletas que realizan intensos entrenamientos durante varias horas al día en climas fríos. No se sabe si el enfriamiento del tracto pulmonar es la principal causa de estos síntomas. Actualmente existen en el mercado máscaras ligeras que realizan una cierta función de intercambiador de calor, conservando así la energía y la humedad.

Un tipo endémico de enfermedad crónica es el "pulmón del esquimal", típica de los cazadores y traperos esquimales que se ven expuestos a un frío extremo y a un trabajo pesado durante largos períodos de tiempo. La hipertensión pulmonar progresiva suele causar con el tiempo una insuficiencia cardíaca que afecta a la parte derecha del corazón.

Trastornos cardiovasculares. La exposición al frío afecta considerablemente al sistema cardiovascular. La noradrenalina liberada por los terminales nerviosos simpáticos aumenta el gasto cardíaco y la frecuencia cardíaca. El dolor torácico provocado por una angina de pecho suele intensificarse en ambientes fríos. El riesgo de sufrir un infarto aumenta con la exposición al frío, especialmente cuando se combina con un trabajo pesado. El frío aumenta la presión arterial y, por consiguiente, el riesgo de hemorragia cerebral. Por consiguiente, las personas en situación de riesgo deben ser advertidas para que reduzcan su exposición a trabajos pesados en ambientes fríos.

En la estación invernal suele producirse una mayor mortalidad. Una explicación de esta observación podría ser el aumento ya mencionado del trabajo del corazón, que produce un mayor

riesgo de arritmia en personas sensibles. Otra observación es un aumento del hematocrito durante la estación fría, que causa una mayor viscosidad de la sangre y una mayor resistencia al flujo. Una posible explicación es que el clima frío puede exponer a las personas a unas cargas de trabajo repentinas y muy pesadas, como retirar la nieve, caminar en nieve profunda, resbalar, etc.

Trastornos metabólicos. La diabetes mellitus es frecuente en las regiones más frías del mundo. La diabetes, aunque no presente complicaciones, puede hacer imposible el trabajo al aire libre en las regiones más remotas, sobre todo si la persona necesita tratamiento con insulina. La arteriosclerosis periférica precoz hace a estas personas más sensibles al frío y aumenta el riesgo de congelación local.

Las personas con deterioro de la función tiroidea pueden sufrir fácilmente hipotermia debido a la ausencia de la hormona termogénica, mientras que las personas hipertiroideas soportan el frío incluso con prendas ligeras.

Los pacientes con estos diagnósticos deben recibir una atención especial de los profesionales sanitarios y siempre se les debe informar de su problema.

Problemas musculoesqueléticos. Se supone que el frío en sí mismo no causa enfermedades en el sistema musculoesquelético, ni siquiera reumatismo. Por otra parte, el trabajo en ambientes fríos suele imponer una gran demanda a los músculos, tendones, articulaciones y columna vertebral, debido a la elevada carga que suelen conllevar este tipo de trabajos. La temperatura de las articulaciones se reduce más rápidamente que la de los músculos. Cuando se enfrían las articulaciones, aumenta la viscosidad del líquido sinovial y el consiguiente aumento de la resistencia al movimiento provoca rigidez. Cuando se combina con un trabajo pesado o una sobrecarga local, el riesgo de lesión aumenta. Además, el uso de prendas protectoras puede dificultar el movimiento de algunas partes del cuerpo, contribuyendo así al riesgo.

La artritis de las manos es un problema especial. Se sospecha que la exposición frecuente al frío puede causar artritis, pero por el momento existen pocas evidencias científicas al respecto. Una persona con artritis en las manos verá reducida su destreza manual en ambientes fríos y sentirá dolor y molestias.

Criopatías. Las criopatías son trastornos que aparecen cuando la persona es hipersensible al frío. Los síntomas son variables y pueden consistir en alteraciones del sistema vascular, de la sangre o del tejido conjuntivo, "alergia" y otros.

Algunas personas sufren lo que se conoce como dedos blancos. Cuando los dedos se exponen al frío, aparecen manchas blancas en la piel, sensación de frío, deterioro de la destreza manual y dolor. Son problemas más frecuentes en las mujeres, pero sobre todo afectan a fumadores y trabajadores que utilizan herramientas vibradoras o conducen trineos motorizados. Los síntomas pueden ser tan molestos que lleguen a imposibilitar el trabajo incluso con exposiciones ligeras al frío. Ciertos tipos de medicación pueden agravar los síntomas.

La urticaria por frío, causada por una sensibilización de los mastocitos, se presenta como un eritema urticante en las partes de la piel expuestas al frío. Si se interrumpe la exposición, los síntomas suelen desaparecer en menos de una hora. Rara vez la enfermedad se complica con síntomas más generales y graves. En ese caso, o si la propia urticaria es muy molesta, la persona debe evitar la exposición a cualquier tipo de frío.

La **acrocirosis** se manifiesta por cambios cianóticos en el color de la piel tras la exposición al frío. Otros síntomas pueden consistir en disfunción de la mano y los dedos en la zona acrocianótica. Los síntomas son muy comunes y con frecuencia se reducen a un nivel aceptable al disminuir la exposición al frío (por ejemplo, con unas prendas de abrigo adecuadas) o el consumo de nicotina.

Estrés psicológico. La exposición al frío, sobre todo cuando se combina con factores relacionados con el frío y la vida en lugares muy apartados, impone a la persona un estrés no sólo fisiológico, sino también psicológico. Cuando se trabaja en ambientes fríos, con mal tiempo, en lugares apartados y quizás en situaciones potencialmente peligrosas, el estrés psicológico puede alterar o incluso deteriorar la función psicológica de la persona de tal manera que le impida realizar con seguridad gran parte del trabajo.

Tabaco y rapé. Los efectos nocivos a largo plazo del tabaco y, en cierta medida, del rapé, se conocen bien. La nicotina aumenta la vasoconstricción periférica, reduce la destreza manual y aumenta el riesgo de lesión por frío.

Alcohol. El consumo de alcohol produce una sensación agradable de calor y en general se piensa que inhibe la vasoconstricción inducida por el frío. Con todo, en estudios experimentales realizados en seres humanos durante exposiciones relativamente cortas al frío, se ha demostrado que el alcohol no interfiere con el equilibrio térmico de manera importante. No obstante, la capacidad de provocar escalofríos se reduce y, cuando se realiza un esfuerzo extenuante, la pérdida de calor aumenta. Se sabe que el alcohol es la principal causa de mortalidad por hipotermia en la zonas urbanas. Produce una sensación de euforia y altera el juicio, haciendo que se ignoren las medidas profilácticas.

Embarazo. Durante el embarazo, las mujeres no son más sensibles al frío. Es más, pueden serlo menos debido a un aumento del metabolismo. Los factores de riesgo durante el embarazo se combinan con los factores relacionados con el frío, como riesgos de accidentes, torpeza por el uso de prendas de abrigo voluminosas, levantamiento de pesos pesados, peligro de resbalar y posiciones forzadas durante el trabajo. Por consiguiente, el sistema de asistencia sanitaria, la sociedad y las empresas deben prestar una atención especial a las mujeres embarazadas que trabajan en ambientes fríos.

Farmacología y frío

Los efectos secundarios negativos de los fármacos durante la exposición al frío pueden afectar a la regulación térmica (general o local) y, a su vez, la exposición al frío puede alterar el efecto de los fármacos. Siempre que el trabajador mantenga una temperatura corporal normal, la mayoría de los medicamentos prescritos no interfieren en el rendimiento. Ahora bien, los tranquilizantes (p. ej., barbitúricos, benzodiazepinas, fentotiazidas y antidepresivos cíclicos) pueden alterar la atención. En una situación peligrosa, los mecanismos de defensa contra la hipotermia se deterioran y la conciencia del peligro de una situación se reduce.

Los betabloqueadores provocan vasoconstricción periférica y reducen la tolerancia al frío. Si una persona necesita recibir algún tipo de medicación y su trabajo le obliga a exponerse al frío, deberán considerarse los efectos secundarios negativos de los fármacos que recibe.

Por otra parte, ningún fármaco ni nada que se beba, coma o administre por otras vías al organismo es capaz de aumentar la producción normal de calor, por ejemplo, en una situación de emergencia cuando existe peligro de hipotermia o lesión por frío.

Programa de control de la salud

Los riesgos para la salud relacionados con el estrés por frío, los factores relacionados con el frío y los accidentes o traumatismos se conocen sólo de forma limitada. Existe una gran variación individual, en cuanto a forma física y estado de salud, que debe tenerse en cuenta. Como ya se ha mencionado antes, algunas enfermedades, medicamentos y otros factores pueden hacer que una persona sea más susceptible a los efectos de la exposición al frío. Los programas de control de la salud deben formar parte de los procedimientos de contratación de nuevos trabajadores y

constituir también una actividad rutinaria para todo el personal. En la Tabla 42.17 se indican los factores que se deben controlar para diferentes tipos de trabajo en ambientes fríos.

Prevención del estrés por frío

Adaptación del ser humano

Con la exposición repetida al frío, las personas sienten menos molestias y aprenden a adaptarse y a enfrentarse a las condiciones de una manera personalizada y más eficiente que al inicio de la exposición. La habituación reduce en cierta medida el efecto de alerta y distracción y mejora la capacidad de razonamiento y la precaución.

Conducta

La estrategia más lógica y natural para prevenir y controlar el estrés por frío es la precaución y una conducta intencionada. Las respuestas fisiológicas no son muy eficaces para prevenir la pérdida de calor. Por ello, los seres humanos dependen mucho de las medidas externas, como el uso de prendas de abrigo, el cobijo y el suministro externo de calor. La mejora y el perfeccionamiento de las prendas de abrigo y los equipos constituyen la base para aumentar la seguridad de la exposición al frío. Desde luego, es esencial que estas prendas y equipos superen las pruebas adecuadas para garantizar que cumplen las normas internacionales.

Las medidas para prevenir y controlar la exposición al frío suelen ser responsabilidad de la empresa o el supervisor. Sin embargo, la eficiencia de las medidas protectoras depende considerablemente de los conocimientos, la experiencia, la motivación y la capacidad de cada trabajador para realizar los ajustes necesarios según sus propios requisitos, necesidades y preferencias. Por tanto, la educación y formación son elementos importantes en cualquier programa de control de la salud.

Aclimatación

Se ha demostrado que existen diferentes tipos de aclimatación cuando la exposición al frío se prolonga durante largos períodos

Tabla 42.17 • Componentes recomendados de los programas de control de la salud para los trabajadores expuestos a estrés por frío y factores relacionados con el frío.

Componente	Trabajo al aire libre	Trabajo en cámaras frigoríficas	Trabajo en regiones árticas y subárticas
Enfermedades infecciosas	**	**	***
Enfermedades cardiovasculares	***	**	***
Enfermedades metabólicas	**	*	***
Problemas musculoesqueléticos	***	*	***
Criopatías	**	**	**
Estrés psicológico	***	**	***
Consumo de tabaco y rapé	**	**	**
Alcohol	***	**	***
Embarazo	**	**	***
Medicación	**	*	***

* = control rutinario, ** = factor importante que debe considerarse, *** = factor muy importante que debe considerarse.

de tiempo. El aumento del flujo sanguíneo en las manos y los dedos permite mantener una temperatura tisular más elevada y produce una mayor vasodilatación inducida por el frío (véase la Figura 42.18). La destreza manual se mantiene más fácilmente tras la exposición repetida de las manos al frío.

El enfriamiento repetido de todo el cuerpo parece aumentar la vasoconstricción periférica, aumentando así el aislamiento del tejido superficial. Las pescadoras de perlas coreanas presentan un marcado aumento del aislamiento cutáneo durante la estación invernal. Recientes investigaciones han revelado que la utilización de trajes de buceo reduce el estrés por frío tanto que el aislamiento de los tejidos no cambia.

Se han propuesto tres tipos de posibles adaptaciones:

- aumento del aislamiento de los tejidos (como ya se ha mencionado);
- reacción hipotérmica (descenso "controlado" de la temperatura interna),
- reacción metabólica (aumento de metabolismo).

Las adaptaciones más pronunciadas deberían encontrarse en las poblaciones nativas de regiones frías. En todo caso, la tecnología moderna y los hábitos de vida han reducido los tipos más extremos de exposición al frío. Las prendas de abrigo, las viviendas con calefacción y la conducta consciente permiten a la mayoría de las personas mantener un clima casi tropical en la superficie de la piel (microclima), reduciendo así el estrés por frío y debilitando el estímulo para la adaptación fisiológica.

Probablemente los grupos más expuestos al frío hoy en día son las expediciones polares y los trabajadores en industrias de las regiones árticas y subárticas. Parece ser que el tipo de adaptación que más se observa con la exposición a frío extremo (aire o agua fría) es el del aislamiento. En otras palabras, se pueden mantener temperaturas interiores más altas con la misma o menos pérdida de calor.

Dieta y equilibrio hídrico

En muchos casos, el trabajo en ambientes fríos se asocia a actividades que consumen mucha energía. Además, la protección contra el frío requiere el uso de prendas y equipos que pesan varios kilos. El efecto entorpecedor de la ropa aumenta el esfuerzo muscular. Por consiguiente, algunos trabajos requieren más energía (y más tiempo) en ambientes fríos. El aporte de calorías a través de los alimentos debe compensar este consumo de energía. Las personas que trabajan al aire libre deben aumentar el porcentaje de calorías proporcionadas por alimentos grasos.

La dieta de los trabajadores expuestos a ambientes fríos debe aportar la energía suficiente. Debe incluir suficientes hidratos de carbono para asegurar unos niveles plasmáticos de azúcar suficientes y estables en los trabajadores que realizan trabajos pesados. Recientemente se han lanzado al mercado productos que supuestamente estimulan y aumentan la producción de calor corporal en ambientes fríos. En general, tales productos consisten simplemente en hidratos de carbono y por el momento no han dado mejores resultados que otros productos similares (chocolate) en las pruebas a las que se les ha sometido, ni tampoco mejores resultados a los esperados por su contenido energético.

La exposición al frío puede provocar una pérdida considerable de agua. En primer lugar, el enfriamiento de los tejidos produce una redistribución del volumen sanguíneo, provocando "diuresis por frío". El trabajo y la ropa no deben interferir en este proceso, que puede desarrollarse en poco tiempo y exigir medidas urgentes. El aire casi seco a temperaturas por debajo de cero permite una evaporación continua en la piel y el tracto respiratorio que no se percibe fácilmente. La sudoración contribuye a la pérdida de agua y debe controlarse cuidadosamente, evitándola

en la medida de lo posible por su efecto nocivo en el aislamiento cuando el sudor es absorbido por las prendas de vestir. En ambientes con temperaturas bajo cero, no siempre se tiene acceso a agua. Cuando se trabaja al aire libre, el agua tiene que ser suministrada o producida derritiendo nieve o hielo. Puesto que la sensación de sed se reduce, es fundamental que los trabajadores expuestos al frío beban agua con frecuencia para evitar una deshidratación progresiva. El déficit hídrico puede reducir la capacidad de trabajo y aumentar el riesgo de sufrir lesiones por frío.

Acondicionamiento de los trabajadores para el trabajo en ambientes fríos

Las medidas más eficaces y adecuadas para adaptar a los seres humanos al trabajo en ambientes fríos son, con diferencia, las que tienen como objetivo el acondicionamiento de los trabajadores: educación, formación y práctica. Como ya se ha dicho antes, gran parte del éxito de la adaptación al frío depende de la conducta de las personas. La experiencia y los conocimientos son elementos importantes en este comportamiento.

Las personas que trabajan en ambientes fríos deben recibir una introducción básica a los problemas específicos del frío. Deben ser informadas de las reacciones fisiológicas y subjetivas, los aspectos relacionados con la salud, el riesgo de accidentes y las medidas de protección, como el uso de prendas protectoras y las técnicas de primeros auxilios. Deben ser entrenadas gradualmente para las tareas que se les encomienda. Sólo después de un cierto tiempo (días o semanas) deberán trabajar toda la jornada en condiciones extremas. En la Tabla 42.18 se ofrecen recomendaciones sobre el contenido de los programas de acondicionamiento para distintos tipos de trabajo en ambientes fríos.

La introducción básica consiste en educación e información sobre los problemas específicos del frío. El registro y el análisis de accidentes y lesiones constituyen la mejor base para las medidas preventivas. La formación en primeros auxilios debe impartirse como un curso básico para todo el personal, aunque algunos grupos específicos deberán recibir un curso avanzado. Las medidas de protección son un componente esencial de cualquier programa de acondicionamiento y se describen con más detalle en la siguiente sección. La formación en técnicas de

Tabla 42.18 • Componentes de los programas de acondicionamiento para los trabajadores expuestos al frío.

Componente	Trabajo al aire libre	Trabajo en cámaras frigoríficas	Trabajo en regiones árticas y subárticas
Control de la salud	***	**	***
Introducción básica	***	**	***
Prevención de accidentes	***	**	***
Formación básica en primeros auxilios	***	***	***
Formación avanzada en primeros auxilios	**	*	***
Medidas de protección	***	**	***
Formación en técnicas de supervivencia	véase texto	*	***

*= nivel rutinario, **= factor importante que debe considerarse, ***= factor muy importante que debe considerarse.

supervivencia es importante para las personas que trabajan en regiones árticas y subárticas, así como para las que trabajan al aire libre en otras zonas remotas.

Control técnico

Principios generales

Debido a los muchos y complejos factores que influyen en el equilibrio térmico del ser humano y a las grandes variaciones individuales, es difícil definir la temperaturas críticas para trabajos prolongados. Las temperaturas que se indican en la Figura 42.19 deben interpretarse como valores que exigen la adopción de medidas para mejorar las condiciones. A temperaturas inferiores a las que aparecen en la Figura 42.19, deberán controlarse y evaluarse las exposiciones. Las técnicas para la evaluación del estrés por frío y las recomendaciones sobre las exposiciones de duración limitada se describen en otras secciones de este capítulo. Se supone que los trabajadores disponen de la mejor protección posible para manos, pies y cuerpo (prendas de vestir). Con una protección inadecuada, el enfriamiento puede producirse a temperaturas considerablemente mayores.

En las Tablas 42.19 y 42.20 se proponen diferentes medidas de prevención y protección que pueden aplicarse a casi todos los tipos de trabajo en ambientes fríos. Con una cuidadosa planificación y previsión puede ahorrarse mucho esfuerzo. Los ejemplos que se ofrecen son recomendaciones. Debe insistirse en que las adaptaciones finales de la ropa, los equipos y la conducta durante el trabajo deben delegarse en los trabajadores. Sólo con una adaptación prudente e inteligente de la conducta a los requisitos de las condiciones ambientales reales puede conseguirse una exposición segura y eficiente.

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists, (ACGIH 1992) ha realizado algunas recomendaciones sobre las condiciones climáticas en las que deberían adoptarse ciertas medidas. Los requisitos fundamentales son los siguientes:

- deben proporcionarse a los trabajadores prendas protectoras suficientes y adecuadas,
- deben tomarse precauciones especiales con los trabajadores de edad avanzada o con los trabajadores que sufren problemas circulatorios.

A continuación se ofrecen otras recomendaciones relacionadas con la protección de las manos, el diseño del lugar de trabajo y las prácticas de trabajo.

Protección de las manos

Con temperaturas inferiores a 16 °C, las operaciones manuales de alta precisión exigen el calentamiento de las manos. Los mangos metálicos de las herramientas y barras deben cubrirse con materiales aislantes cuando su temperatura sea inferiores a -1 °C. El trabajador debe utilizar guantes anticontacto siempre que exista el riesgo de tocar superficies con temperaturas de -7 °C o inferiores. A -17 °C deberán utilizar manoplas aislantes. Los líquidos evaporativos a temperaturas inferiores a 4 °C deberán manipularse con precaución para evitar que salpiquen zonas de la piel desnudas o mal protegidas.

Prácticas de trabajo

Por debajo de una temperatura equivalente de congelación de -12 °C, los trabajadores deben someterse a una supervisión constante (vigilancia por un compañero). Muchas de las medidas que se sugieren en la Tabla 42.18 son aplicables. Con temperaturas más bajas, se hace cada vez más importante que los trabajadores reciban formación sobre los procedimientos de seguridad y salud.

Diseño del lugar de trabajo

El lugar de trabajo debe estar protegido del viento y las velocidades del aire deben mantenerse por debajo de 1 m/s. Siempre que sea necesario, los trabajadores deberán utilizar prendas de abrigo contra el viento. Asimismo, deberán utilizar protectores oculares en condiciones especiales de exposición al sol y a superficies cubiertas de nieve. Se recomienda que las personas que trabajan siempre a temperaturas inferiores a -18 °C, sean sometidas a exámenes médicos. Entre las recomendaciones sobre la vigilancia del lugar de trabajo destacan las siguientes:

- Termometría adecuada cuando la temperatura sea inferior a 16 °C.
- Control de la velocidad del aire en interiores al menos cada 4 horas.
- Medición de la velocidad del viento en trabajos al aire libre y con temperaturas ambientales inferiores a -1 °C.
- Determinación de la Temperatura Equivalente de Congelación para distintas combinaciones de velocidad del aire y temperatura ambiente.

La mayoría de las recomendaciones que se ofrecen en las Tablas 42.19 y 42.20 son pragmáticas y sencillas.

El uso de prendas de abrigo es la medida más importante para el control individual. Las capas múltiples de ropa permiten soluciones más flexibles que el uso de un único traje que incorpora la función de capas múltiples. No obstante, las necesidades específicas del trabajo determinarán cuál es el sistema más funcional. La ropa protege contra el enfriamiento. Pero también el exceso de ropa en ambientes fríos es un problema frecuente para los miembros de las expediciones árticas que se ven expuestos a frío extremo. El exceso de ropa puede producir rápidamente una intensa sudoración, acumulándose el sudor en las capas de ropa. Durante los periodos de baja actividad, la ropa húmeda se seca

Figura 42.19 • Temperaturas estimadas a las que pueden producirse ciertos desequilibrios térmicos del organismo*.



* Se supone que se cuenta con las mejores prendas protectoras.

Tabla 42.19 • Estrategias y medidas durante distintas fases del trabajo para prevenir y reducir el estrés por frío.

Fase/factor	Medidas recomendadas
Fase de planificación	<p>Programar el trabajo para una estación más cálida (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Comprobar si el trabajo puede realizarse en interiores (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Reservar más tiempo para el trabajo en ambientes fríos y con prendas protectoras.</p> <p>Analizar la idoneidad de las herramientas y los equipos utilizados.</p> <p>Organizar el trabajo en periodos adecuados de trabajo-descanso, considerando las tareas, la carga de trabajo y el nivel de protección.</p> <p>Proporcionar un espacio o refugio con calefacción para la recuperación.</p> <p>Proporcionar formación para tareas complejas en condiciones normales.</p> <p>Comprobar las historias médicas de los trabajadores.</p> <p>Comprobar que los trabajadores poseen los conocimientos y las destrezas adecuadas.</p> <p>Facilitar información sobre riesgos, problemas, síntomas y medidas preventivas.</p> <p>Separar la línea de producción del área de trabajo y mantener estas dos zonas a temperaturas diferentes.</p> <p>Controlar a niveles bajos la velocidad, la humedad, y el nivel de ruido del sistema de acondicionamiento del aire.</p> <p>Asignar personal adicional para acortar la exposición.</p> <p>Seleccionar prendas protectoras adecuadas y otros equipos de protección.</p>
Antes de cada turno de trabajo	<p>Comprobar las condiciones ambientales al inicio del trabajo.</p> <p>Programar unos regímenes adecuados de trabajo-descanso.</p> <p>Permitir el control individual de la intensidad del trabajo y de la ropa.</p> <p>Seleccionar una ropa adecuada y otros equipos personales.</p> <p>Comprobar el tiempo y las previsiones climáticas (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Preparar programas y controlar las estaciones (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Organizar un sistema de comunicación (para el trabajo al aire libre).</p>
Durante el turno de trabajo	<p>Permitir periodos de descanso en un refugio con calefacción.</p> <p>Permitir interrupciones frecuentes para tomar alimentos y bebidas calientes.</p> <p>Permitir flexibilidad en términos de intensidad y duración del trabajo.</p> <p>Proporcionar un lugar para cambiarse de ropa (calcetines, guantes, etc.).</p> <p>Proteger contra la pérdida de calor por contacto con superficies frías.</p> <p>Reducir al mínimo la velocidad del aire en las zonas de trabajo.</p> <p>Mantener el lugar de trabajo libre de agua, hielo y nieve.</p> <p>Aislar el suelo de los lugares de trabajo estacionarios.</p> <p>Permitir el acceso a ropa adicional para calentarse.</p> <p>Vigilar las reacciones subjetivas (sistema basado en el compañero) (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Informar periódicamente al capataz o a la base (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Permitir un tiempo suficiente de recuperación después de exposiciones severas (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Proteger contra los efectos del viento y la lluvia (para el trabajo al aire libre).</p> <p>Vigilar las condiciones climáticas y anticipar cambios climáticos (para el trabajo al aire libre).</p>

Fuente: Adaptado de Holmér 1994.

umentando la pérdida de calor corporal. La medida preventiva obvia es reducir la sudoración mediante una selección adecuada de las prendas de vestir y realizar las adaptaciones necesarias a los cambios en la intensidad del trabajo y las condiciones climáticas. No existe ningún tejido que puede absorber grandes cantidades de sudor y al mismo tiempo conservar unas buenas propiedades de aislamiento y bienestar. La lana permanece esponjada y aparentemente seca aunque absorba cierta cantidad de agua (recuperación de humedad), pero si se producen grandes

cantidades de sudor, éste se condensa y produce problemas similares a los observados con otros tejidos. La humedad permite cierta liberación de calor y contribuye a conservar el calor. Ahora bien, cuando la prenda de lana se seca sobre el cuerpo, el proceso se invierte según se ha comentado antes y la persona se enfría inevitablemente.

La tecnología de las fibras modernas ha producido numerosos materiales y tejidos nuevos para la fabricación de prendas de vestir. Ahora existen trajes que combinan la impermeabilidad al agua con una buena permeabilidad al vapor de agua, o un elevado aislamiento con menos peso o grosor. Con todo, es esencial que se seleccionen prendas con propiedades y funciones garantizadas y demostradas. Existen muchos productos que intentan imitar a otros más costosos. Algunos de ellos son de tan mala calidad que su uso puede resultar peligroso.

La protección contra el frío depende principalmente del aislamiento térmico proporcionado por todo el conjunto de prendas de vestir (1 clo). Claro está que propiedades como la permeabilidad al aire, al vapor de agua y al agua de la capa exterior en particular son esenciales para la protección contra el frío. Existen normas internacionales y métodos de ensayo para medir y clasificar estas propiedades. Igualmente, los guantes y el calzado pueden ser sometidos a pruebas para determinar sus propiedades protectoras utilizando normas como las normas europeas EN 511 y EN 344 (CEN 1992, 1993).

Trabajo en exteriores fríos

Los problemas específicos del trabajo en exteriores fríos se deben a la combinación de los factores climáticos que pueden ocasionar estrés por frío. La combinación del viento y una temperatura ambiente baja aumenta significativamente la capacidad de enfriamiento del ambiente, un hecho que tiene que tenerse en cuenta para la organización del trabajo, la protección del lugar de trabajo y la selección de las prendas de vestir. Las precipitaciones, ya sean en forma de nieve o lluvia, o acumuladas en el suelo, requieren algunos ajustes. La variación en las condiciones climáticas obliga a los trabajadores a planificar, llevar y utilizar prendas y equipos adicionales.

Gran parte de los problemas del trabajo al aire libre se deben a las variaciones, en ocasiones grandes, del nivel de actividad y las condiciones climática durante un mismo turno de trabajo. No existe ninguna prenda de vestir que pueda adaptarse a unas variaciones tan grandes. En consecuencia, la ropa tiene que cambiarse y ajustarse con frecuencia. De lo contrario, se producirá enfriamiento por una protección insuficiente, o sudoración o sobrecalentamiento por un exceso de ropa. En este último caso, gran parte del sudor se condensa o es absorbido por la ropa. En periodos de descanso y baja actividad, la ropa sudada supone un riesgo potencial, puesto que al secarse reduce el calor corporal.

Las medidas de protección para el trabajo al aire libre incluyen unos regímenes adecuados de trabajo y descanso, éste último en refugios o cabinas con calefacción. Los puestos de trabajo estacionarios pueden protegerse del viento y de las precipitaciones con tiendas de campaña con o sin calefacción. En algunos casos será necesario utilizar calefactores de calor infrarrojo o de gas. La prefabricación de piezas o componentes se realiza a veces al aire libre. A temperaturas por debajo de cero, las condiciones del lugar de trabajo, incluidas las climáticas, deben ser controladas periódicamente. Deberán establecerse unas normas claras sobre los procedimientos aplicables cuando las condiciones empeoren. Asimismo, deberán acordarse los niveles de temperatura, corregidos en ocasiones para tener en cuenta el viento (índice de enfriamiento por el viento) y vinculados a un programa de acción.

Tabla 42.20 • Estrategias y medidas relacionadas con factores y equipos específicos.

Conducta	<p>Permitir tiempo para ajustar la vestimenta. Evitar la sudoración y el enfriamiento realizando a tiempo adaptaciones de la ropa en función de la carga de trabajo y/o la exposición. Ajustar la carga de trabajo (para mantener la sudoración al mínimo). Evitar cambios rápidos en la intensidad del trabajo. Permitir una ingesta adecuada de líquidos y comidas calientes. Permitir periodos de descanso en áreas protegidas (refugio, habitación caliente) (para trabajos al aire libre). Evitar que la ropa se moje con agua o nieve. Permitir una recuperación suficiente en una zona protegida (para trabajos al aire libre). Informar del progreso del trabajo al capataz o a la base (para trabajos al aire libre). Notificar importantes desviaciones del plan y el programa de trabajo (para trabajos al aire libre).</p>	<p>Poner a prueba la maquinaria, las herramientas y los equipos en condiciones frías controladas. Seleccionar equipos probadas siempre que sea posible. Formar a los trabajadores para realizar operaciones complejas en condiciones de frío controladas. Informar sobre accidentes y prevención de accidentes.</p>
Ropa	<p>Seleccionar prendas de vestir con las que se tenga experiencia previa. En el caso de prendas nuevas, seleccionar aquellas que hayan superado ciertas pruebas. Seleccionar el nivel de aislamiento en función del clima y la actividad previstos. Utilizar ropa flexible que permita ajustar el grado de aislamiento. Las prendas de vestir deben ser fáciles de poner y quitar. Reducir la fricción interna entre las capas de ropa mediante una selección adecuada de tejidos. Seleccionar el tamaño de las prendas exteriores para que quepan las prendas interiores. Utilizar un sistema de capas múltiples: —la capa interna para el control microclimático —la capa intermedia para el control del aislamiento —la capa externa para la protección ambiental. La capa interna no debe absorber agua en caso de que el sudor no pueda ser suficientemente controlado. La capa interna debe ser absorbente si se prevé que no se producirá sudoración o ésta será escasa. La capa interna puede consistir en tejidos de doble función, en el sentido de que la fibra en contacto con la piel no sea absorbente y las fibras próximas a la capa intermedia absorban agua o humedad. La capa intermedia debe permitir que se estanquen capas de aire. La capa intermedia debe tener forma estable y ser elástica. La capa intermedia puede estar protegida por capas que actúen como barrera al vapor. Las prendas de vestir deben solaparse lo suficiente en la zona de la cintura y la espalda. La capa exterior debe seleccionarse en función de los requisitos de protección adicional contra el viento, el agua, el aceite, el fuego, el desgarro o la abrasión. El diseño de la capa externa debe permitir un control fácil y amplio de las aperturas del cuello, las mangas, las muñecas, etc. para regular la ventilación del espacio interior. Las cremalleras y otros cierres tienen que funcionar también en condiciones de nieve y viento. Los botones deben evitarse. La ropa debe poder abrocharse y desabrocharse incluso con dedos fríos y torpes. El diseño debe permitir que se adopten posturas flexionadas sin que por ello se compriman las capas y se reduzca el aislamiento. Evitar constricciones innecesarias. Llevar siempre mantas de reserva a prueba de viento (NOTA: La "manta del astronauta" aluminizada no protege más de lo normal por ser a prueba de viento. Una gran bolsa de basura de polietileno produce el mismo efecto).</p>	<p>Protección de las manos Las manoplas proporcionan el mejor aislamiento. Las manoplas deben permitir el uso de unos guantes interiores finos. Las exposiciones prolongadas que exigen un trabajo manual de precisión deben interrumpirse con periodos frecuentes de recalentamiento. Los calentadores de bolsillo y otras fuentes externas de calor pueden evitar o retrasar el enfriamiento de las manos. Las mangas de las chaquetas deben acomodar fácilmente los puños de los guantes o las manoplas, ya sea por debajo o por encima. La ropa exterior debe permitir que los guantes puedan guardarse o engancharse fácilmente cuando el trabajador se los quite.</p> <p>Calzado Las botas deben proporcionar un gran aislamiento del suelo (suela). La suela debe estar fabricada con un material flexible y contar con un dibujo antideslizante. Las botas deben tener el tamaño adecuado para que quepan varias capas de calcetines y una plantilla. La ventilación de la mayor parte del calzado es mala, razón por la cual debe controlarse la humedad con el cambio frecuente de los calcetines y las plantillas. Control de la humedad mediante una barrera al vapor entre la capa interior y exterior. Las botas deben secarse completamente entre turno y turno. Las perneras deben ajustarse fácilmente a la bota, ya sea por debajo o por encima.</p> <p>Prendas para la cabeza Una prenda flexible para la cabeza es un importante instrumento para el control del calor y las pérdidas de calor de todo el cuerpo. Las prendas para la cabeza deben ser impermeables al viento. El diseño debe proporcionar protección suficiente a las orejas y el cuello. El diseño debe acomodar otros tipos de equipos protectores (p. ej., orejeras, gafas de seguridad).</p> <p>Cara Las máscaras deben ser aislantes e impermeables al viento. Ningún elemento metálico debe estar en contacto con la piel. El uso de máscaras especiales de respiración o piezas bucales permite lograr un calentamiento y humidificación considerables del aire inspirado. Utilizar gafas de seguridad para el trabajo al aire libre, especialmente en presencia de aguanieve y nieve. Deben protegerse los ojos de la radiación ultravioleta y el deslumbramiento.</p> <p>Equipos y herramientas Seleccionar herramientas y equipos diseñados y probados para condiciones de frío. Elegir un diseño que pueda manejarse con las manos enfundadas en guantes. Precalentar las herramientas y los equipos. Guardar las herramientas y los equipos en un lugar con calefacción. Aislar los mangos de las herramientas y los equipos.</p> <p>Maquinaria Seleccionar maquinaria diseñada para ambientes fríos. Guardar la maquinaria en lugares protegidos. Precalentar la maquinaria antes de utilizarla. Aislar los mangos y controles. Diseñar los mangos y controles para que puedan manejarse con las manos enfundadas en guantes. Prepararla para que su reparación y mantenimiento sean fáciles en condiciones adversas.</p> <p>Lugar de trabajo Mantener la velocidad del aire lo más reducida posible. Utilizar pantallas contra el viento o prendas impermeables al viento. Aislar el suelo cuando el trabajo tenga que realizarse durante un periodo de tiempo prolongado de pie, de rodillas o tumbado en el suelo. Proporcionar calor adicional cuando el trabajo sea ligero y estacionario.</p>
Educación y formación	<p>Proporcionar educación e información sobre los problemas especiales del frío. Proporcionar información y formación en primeros auxilios y tratamiento de las lesiones por frío.</p>	

Fuente: Adaptado de Holmér 1994

Trabajo en cámaras frigoríficas

Los alimentos congelados tienen que ser almacenados y transportados a temperaturas ambientales muy bajas ($< -20\text{ }^{\circ}\text{C}$). El trabajo en cámaras frigoríficas existe en casi todas las partes del mundo. Es un tipo de exposición artificial al frío que se caracteriza por un clima constante y controlado. Los trabajadores pueden verse expuestos al frío de manera continua o, lo más frecuente, de manera intermitente, turnándose entre los ambientes fríos y los ambientes cálidos o calurosos fuera de la cámara.

Siempre que el trabajo exija un cierto esfuerzo físico, puede conseguirse un equilibrio térmico seleccionando las prendas protectoras adecuadas. Los problemas especiales de las manos y los pies suelen exigir descansos periódicos cada 1,5 o 2 horas. El periodo de descanso debe ser suficientemente largo para permitir el recalentamiento (20 minutos).

La manipulación manual de los productos congelados exige el uso de unos guantes protectores que proporcionen un aislamiento suficiente (sobre todo de la palma de la mano). Los requisitos y métodos de ensayo para los guantes de protección contra el frío se establecen en la norma europea EN 511, que se describe con más detalle en el artículo "Índices del frío y normas sobre el frío" en este mismo capítulo. La instalación de calefactores locales (p. ej., radiadores infrarrojos) en los puestos de trabajo estacionarios facilitan el equilibrio térmico.

Gran parte del trabajo en las cámaras frigoríficas se realiza con carretillas elevadoras. La mayoría de estos vehículos son descubiertos. La conducción crea una velocidad relativa del aire, que en combinación con las bajas temperaturas, aumenta el enfriamiento corporal. Además, el trabajo en sí mismo es ligero y la producción asociada de calor metabólico es pequeña. En consecuencia, el aislamiento requerido de la ropa es bastante alto (alrededor de 4 clo) y no puede conseguirse con la mayoría de las prendas utilizadas. El conductor se queda frío, empezando por los pies y las manos, razón por la cual la exposición tiene que tener una duración limitada. Dependiendo de la disponibilidad de prendas protectoras, los regímenes de trabajo deberán organizarse con periodos de trabajo en ambientes fríos y ambientes cálidos y periodos de descanso en ambientes térmicamente neutros. Una medida sencilla para facilitar el equilibrio térmico consiste en instalar un asiento calefactado en la carretilla. De esta forma podrá prolongarse el tiempo de exposición al frío y prevenir el enfriamiento local del asiento y la espalda. Otras soluciones más sofisticadas y costosas consisten en el uso de cabinas con calefacción.

En los países cálidos existen problemas especiales cuando los trabajadores de las cámaras frigoríficas, normalmente los conductores de las carretillas, se ven expuestos intermitentemente a calor ($+30\text{ }^{\circ}\text{C}$) y frío ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las exposiciones breves (entre 1 y 5 min) a estos ambientes extremos pueden dificultar el uso de una ropa adecuada, que será excesiva para el periodo de trabajo al aire libre e insuficiente para el trabajo en la cámara frigorífica. El uso de carretillas con cabinas climatizadas puede ser la única solución posible, una vez solucionado el problema de la condensación en los cristales. Para organizar unos regímenes de trabajo adecuados, tiene que considerarse siempre el tipo de trabajo realizado y la protección disponible.

Los lugares de trabajo frescos, como los que se encuentran por ejemplo en el sector de los alimentos frescos, presentan unas condiciones climáticas con unas temperaturas ambientales de entre $+2$ y $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo del tipo de alimento. Algunos de estos ambientes se caracterizan por una elevada humedad relativa que provoca la condensación de agua en las zonas frescas y la acumulación de humedad o agua en el suelo, a la vez que aumenta el riesgo de resbalones. Son problemas que pueden solucionarse con una buena higiene del lugar de trabajo y unas

rutinas de limpieza que contribuyan a reducir la humedad relativa.

La velocidad local de aire en los puestos de trabajo es a veces demasiado alta, provocando quejas de los trabajadores por la existencia de corrientes de aire. Los problemas pueden resolverse cambiando o ajustando las salidas de aire frío o reconfigurando los puestos de trabajo. La acumulación de productos congelados o frescos cerca de los puestos de trabajo puede contribuir a la sensación de corriente debido a un mayor intercambio de calor por radiación. La ropa debe seleccionarse basándose en una evaluación de los requisitos y en el método IREQ. Además, la ropa debe diseñarse para proteger al trabajador contra las corrientes locales, la humedad y el agua. Los requisitos higiénicos especiales para la manipulación de los alimentos imponen ciertas restricciones en el diseño y el tipo de prendas de vestir (es decir, de la capa exterior). Una vestimenta adecuada debe constar de la ropa interior, una capa intermedia aislante, y la capa exterior, para formar un sistema protector suficiente y funcional. Las prendas para la cabeza suelen ser necesarias por motivos higiénicos. Con todo, las prendas que se utilizan en la actualidad suelen ser de papel y no ofrecen ninguna protección contra el frío. El calzado consiste en zuecos o zapatos ligeros, con malas propiedades aislantes. La selección de unas prendas más adecuadas para la cabeza y los pies puede ayudar a conservar el calor en estas partes del cuerpo y contribuir a mejorar el equilibrio térmico general.

Un problema especial en muchos lugares de trabajo es la conservación de la destreza manual. Las manos y los dedos se enfrían rápidamente cuando la actividad muscular es pequeña o moderada. El uso de guantes aumenta la protección, pero reduce la destreza. Tiene que lograrse un equilibrio delicado entre estas dos demandas. Para cortar carne se suelen utilizar guantes metálicos. El uso de unos guantes de tejido fino por debajo puede reducir el efecto de enfriamiento y aumentar la sensación de bienestar. Los guantes finos pueden ser suficientes para muchos fines. Otras medidas para evitar el enfriamiento de las manos consisten en utilizar, por ejemplo, radiadores infrarrojos. En el mercado existen guantes calentados eléctricamente, pero su ergonomía suele ser deficiente, así como su capacidad de calentamiento y la autonomía de su batería.

Exposición al agua fría

La inmersión del cuerpo en agua fría produce la pérdida de grandes cantidades de calor en periodos de tiempo muy cortos y conlleva un riesgo evidente. La conductividad del calor del agua es 25 veces mayor que la del aire y en muchas situaciones de exposición, la capacidad del agua circundante para absorber calor, es realmente infinita.

La temperatura termoneutra (sensación térmica neutra) del agua es de unos 32 o $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, y a temperaturas inferiores el cuerpo responde con vasoconstricción y escalofríos. Una larga exposición a agua con una temperatura de entre 25 y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ provoca el enfriamiento del cuerpo y un desarrollo progresivo de hipotermia. Naturalmente, esta respuesta es mayor y más grave cuanto menor sea la temperatura del agua.

La exposición al agua fría es frecuente en los accidentes marítimos y en algunos deportes acuáticos. En cualquier caso, incluso durante las actividades laborales, los trabajadores corren el riesgo de una hipotermia por inmersión (p. ej., buceo, pesca, navegación y operaciones en alta mar).

Las víctimas de naufragios pueden verse obligadas a sumergirse en agua fría con una protección que puede ir desde prendas finas hasta trajes de buceo. Los chalecos salvavidas forman parte de los equipos que los barcos deben llevar obligatoriamente a bordo. Deben ir provistos de un collar para reducir la pérdida de calor en la cabeza de las víctimas inconscientes. El equipo del

barco, la eficacia de los procedimientos de emergencia y la conducta de la tripulación y los pasajeros son importantes factores que determinan el éxito de una operación de rescate y las posteriores condiciones de exposición.

Los buzos tienen que sumergirse con frecuencia en aguas frías. La temperatura de la mayoría de las aguas en las que se practica el buceo profesional, sobre todo a cierta profundidad, es baja, normalmente inferior a 10 °C. Cualquier exposición prolongada a aguas así de frías exige el uso de ropa de buceo aislante.

Pérdida de calor. El intercambio de calor en el agua puede concebirse simplemente como un flujo de calor a través de dos gradientes de temperatura: uno interno, del núcleo a la periferia del cuerpo, y otro externo, de la superficie cutánea al agua circundante. La pérdida de calor en la superficie corporal puede describirse simplemente como:

$$C_w = h_c \cdot (T_{sk} - T_w) \cdot A_D$$

donde C_w es la *tasa* de pérdida de calor de convección (W), h_c es el coeficiente de transferencia de calor de convección (W/°Cm²), T_{sk} es la temperatura cutánea media (°C), T_w es la temperatura del agua (°C) y A_D es la superficie del cuerpo. Los pequeños componentes de la pérdida de calor por la respiración y las partes no sumergidas (p. ej., la cabeza) se ignoran (véase la siguiente sección sobre el buceo).

El valor de h_c varía entre 100 y 600 W/°Cm². El valor mínimo corresponde al agua estacionaria. Las turbulencias, ya sean causadas por los movimientos al nadar o por las corrientes de agua, multiplican por dos o por tres el coeficiente de convección. Se comprende fácilmente que cualquier cuerpo sin protección sufra una pérdida considerable de calor cuando se sumerge en agua fría, en ocasiones superando el calor que es capaz de producir incluso con un esfuerzo intenso. De hecho, una persona (vestida o desnuda) que se sumerja en agua fría ahorra en la mayoría de los casos más calor quedándose quieta que nadando.

La pérdida de calor al agua puede reducirse significativamente mediante el uso de prendas protectoras especiales.

Buceo. Los buzos que descienden varios cientos de metros por debajo del nivel del mar deben protegerse de los efectos de la presión (un ATA o 0,1 MPa/10 m) y el frío. La inspiración de aire frío (o una mezcla de gas frío de helio y oxígeno) hace que el cuerpo pierda calor a través de los tejidos pulmonares. La pérdida directa de calor del interior del organismo es grande a presiones elevadas y puede alcanzar fácilmente valores mayores que la producción de calor metabólico en reposo. El organismo humano no percibe fácilmente esta pérdida de calor. La temperatura interna puede descender a niveles peligrosos sin que el cuerpo responda con escalofríos cuando la temperatura superficial del cuerpo todavía se mantiene. Las operaciones modernas en alta mar exigen que el buzo disponga de una fuente adicional de calor en el traje y en el respirador para compensar la gran pérdida de calor de convección. En el buceo a grandes profundidades marinas, la zona de confort es estrecha y exige unas temperaturas más altas que al nivel de la superficie del mar: entre 32 °C cuando la presión es de 20 a 30 ATA (entre 2 y 3 MPa) y aumentando a 32 o 34 °C hasta 50 ATA (5 MPa).

Factores fisiológicos: La inmersión en agua fría provoca una respuesta respiratoria aguda. La respuesta inicial consiste en "boqueada inspiratoria", hiperventilación, taquicardia, vasoconstricción periférica e hipertensión. La apnea inspiratoria dura varios segundos y va seguida por hiperventilación. La respuesta es casi imposible de controlar voluntariamente. Por consiguiente, la persona puede inhalar fácilmente agua si el mar está movido y su cuerpo se encuentra sumergido. Los primeros segundos de inmersión en agua muy fría son peligrosos y puede producirse el ahogamiento repentino de la persona. La inmersión lenta y con la protección adecuada del cuerpo reduce la reacción y permite

un mejor control de la respiración. La reacción desaparece gradualmente y en general la respiración se normaliza al cabo de unos minutos.

La rápida pérdida de calor en la superficie cutánea obliga a insistir en la importancia de los mecanismos internos (fisiológicos o constitucionales) para reducir el flujo de calor del interior del cuerpo a la piel. El ejercicio aumenta el flujo de sangre en las extremidades y, sumado a la mayor convección externa, puede de hecho acelerar la pérdida de calor a pesar de una mayor producción de calor.

Al cabo de 5 o 10 minutos de inmersión en agua muy fría, la temperatura de las extremidades desciende rápidamente. La función neuromuscular se deteriora y la capacidad de coordinar y controlar el rendimiento muscular se degrada. La capacidad de nadar puede reducirse considerablemente y en poco tiempo pone en situación de riesgo a la persona.

Las dimensiones corporales es otro factor importante. Una persona alta tiene una mayor superficie corporal y pierde más calor que una persona pequeña en las mismas condiciones ambientales. Con todo, la masa corporal relativamente mayor compensa este hecho de dos formas. La producción de calor metabólico aumenta cuanto mayor es la superficie corporal y el contenido de calor es mayor con la misma temperatura corporal. Este último factor supone una mayor amortiguación de las pérdidas de calor y un descenso más lento de la temperatura interna. Los niños corren un mayor riesgo que los adultos.

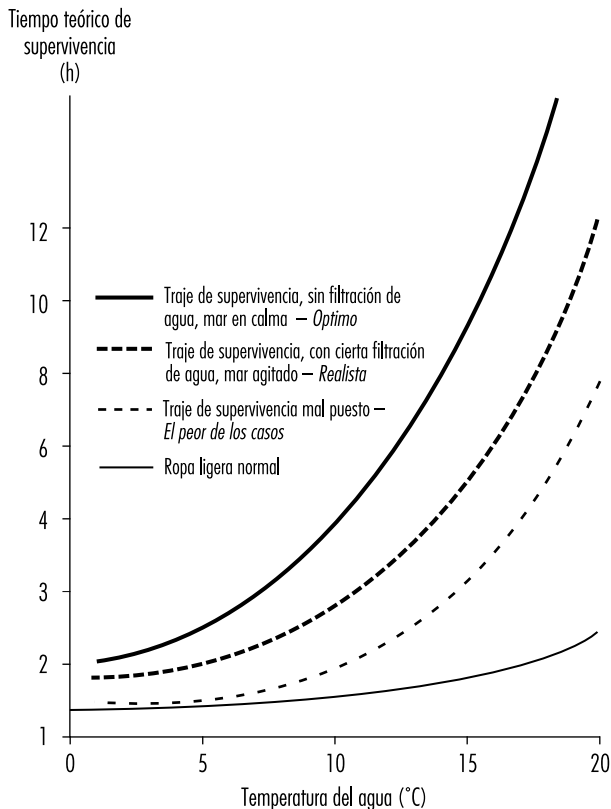
El factor más importante con diferencia es el contenido de grasa corporal, en particular, el grosor de la capa de grasa subcutánea. El tejido adiposo es más aislante que otros tejidos y apenas está irrigado por la circulación periférica. Una vez que se produce la vasoconstricción, la capa de grasa subcutánea actúa como una capa aislante. Dicho efecto aislante está casi linealmente relacionado con el grosor de la capa. En consecuencia, las mujeres, que en general acumulan más grasa cutánea que los hombres, pierden menos calor en las mismas condiciones. Igualmente, las personas gruesas se encuentran en una mejor situación que las delgadas.

Protección personal. Como ya se ha mencionado antes, la inmersión prolongada en aguas frías y templadas exige un aislamiento externo adicional en forma de trajes de buceo, trajes de inmersión o un equipo similar. El traje húmedo de espuma de neopreno proporciona aislamiento por el grosor del material (células tupidas de espuma) y por la "entrada" relativamente controlada de agua al microclima de la piel. Este último fenómeno produce un calentamiento de dicha agua y el aumento de la temperatura cutánea. Existen trajes de distintos grosores que proporcionan más o menos aislamiento. Un traje húmedo se comprime con la profundidad y pierde, por tanto, gran parte de su capacidad de aislamiento.

El traje seco se utiliza casi siempre con temperaturas inferiores a 10 °C. Permite el mantenimiento de una temperatura cutánea más elevada, dependiendo de la cantidad de aislamiento adicional que se lleve por debajo del traje. Un requisito fundamental es que el traje no deje pasar nada de agua, ya que pequeñas cantidades de agua (entre 0,5 y 1 l) reducen considerablemente su capacidad aislante. Aunque el traje seco también se comprime con la profundidad, se añade automática o manualmente aire seco a través de la bombona de oxígeno del buzo para compensar esa reducción del volumen. Por consiguiente, puede mantenerse una capa de aire con un microclima que proporciona un buen aislamiento.

Como ya se ha mencionado antes, el buceo a grandes profundidades requiere un calentamiento auxiliar. El gas respirado se precalienta y el traje también se calienta inyectando agua caliente desde la superficie o desde el cinturón del buzo. Las técnicas más recientes de calentamiento se basan en ropa interior

Figura 42.20 • Tiempos previstos de supervivencia para situaciones típicas de alta mar en el Mar del Norte.



Fuente: Hayes 1988.

calentada eléctricamente o circuitos cerrados de tubos llenos de un líquido caliente.

Las manos son particularmente sensibles al enfriamiento y pueden exigir una protección adicional en forma de guantes aislantes o calentados.

Exposiciones seguras. El rápido desarrollo de la hipotermia y el peligro inminente de muerte por la exposición a aguas frías exige algún tipo de predicción de las condiciones de exposición seguras e inseguras. En la Figura 42.20 se muestran los tiempos de supervivencia teóricos para cuatro condiciones típicas de trabajo en alta mar en el Mar del Norte. El criterio aplicado es un descenso de la temperatura interna a 34 °C en el décimo percentil de la población. Se supone que ésta es la temperatura alcanzada por una persona consciente y con pleno dominio de sí misma. El uso y funcionamiento correctos de un traje seco multiplica por dos el tiempo teórico de supervivencia. La curva inferior corresponde a una persona sin protección sumergida con ropa normal. Cuando la ropa se empapa de agua, el aislamiento efectivo es muy pequeño y los tiempos de supervivencia muy cortos (adaptado de Wissler 1988).

Trabajo en regiones árticas y subárticas

Las regiones árticas y subárticas del mundo plantean problemas adicionales a los del trabajo normal en ambientes fríos. La estación fría coincide con la oscuridad. El número de horas de luz es pequeño. Tales regiones abarcan zonas muy grandes, deshabitadas o escasamente pobladas, como el norte de Canadá, Siberia y el norte de Escandinavia. Además, la naturaleza es hostil.

Tienen que recorrerse distancias muy grandes y se tarda mucho tiempo en ir de un lado a otro. La combinación de frío, oscuridad y aislamiento exigen consideraciones especiales en términos de organización del trabajo, preparación y equipos. En particular, los trabajadores deben aprender técnicas de supervivencia y primeros auxilios, recibir los equipos adecuados y tenerlos a su disposición mientras trabajan.

Como ya se ha visto, los trabajadores de las regiones árticas están expuestos a numerosos riesgos para su salud. El riesgo de accidentes y lesiones es elevado, el abuso de drogas es frecuente, las pautas culturales plantean problemas y se producen confrontaciones entre la cultura local nativa y las demandas de la industria occidental moderna. La conducción de trineos motorizados es un ejemplo de la exposición a riesgos múltiples en las condiciones típicas de las regiones árticas (véase más adelante). Se cree que el estrés por frío es uno de los factores de riesgo que explica la mayor frecuencia de algunas enfermedades. El aislamiento geográfico es otro factor que produce ciertos tipos de defectos genéticos en algunas regiones nativas. Las enfermedades endémicas, por ejemplo, ciertas enfermedades infecciosas, tienen también importancia a escala local o regional. Los colonizadores o los trabajadores desplazados corren un mayor riesgo por los diferentes tipos de reacciones al estrés psicológico provocado por el nuevo entorno, las duras condiciones climáticas, el aislamiento y la preocupación.

En este contexto, debe considerarse la adopción de medidas específicas. El trabajo siempre se realizará en grupos de tres, para que en caso de emergencia una persona pueda ir en busca de ayuda mientras que la otra se queda cuidando a la víctima de, por ejemplo, un accidente. La variación estacional de la luz diurna y del clima debe también tenerse en cuenta para planificar las actividades laborales. Los trabajadores deben someterse a reconocimientos médicos para detectar problemas de salud. En caso necesario, se dispondrá de equipos adicionales para situaciones de emergencia o supervivencia. Vehículos como coches, camiones o trineos motorizados deberán transportar equipos especiales para reparaciones y situaciones de emergencia.

Un problema específico del trabajo en estas regiones es el de los trineos motorizados. En los últimos treinta años, los trineos motorizados han evolucionado de unos vehículos primitivos con tecnología rudimentaria a unas máquinas veloces y tecnológicamente avanzadas. Se utilizan con frecuencia para actividades recreativas, pero también para el trabajo (entre el 10 y el 20 % de su uso). Las profesiones típicas que utilizan trineos motorizados son la policía, el personal militar, los pastores de renos, los leñadores, los agricultores, el sector del turismo, los tramperos y los equipos de búsqueda y rescate.

La exposición a la vibración de estos trineos conlleva un mayor riesgo de lesiones inducidas por la vibración para el conductor. El conductor y los pasajeros están expuestos a gases de escape no purificados. El ruido producido por el motor puede ocasionar pérdida de audición. Debido a la gran velocidad que alcanzan estos vehículos, las irregularidades del terreno y la escasa protección del conductor y los pasajeros, el riesgo de accidentes es grande.

El sistema musculoesquelético está expuesto a vibraciones y a posiciones y cargas extremas durante el trabajo, especialmente cuando se conduce por terrenos abruptos o escarpados. Si el vehículo se atasca, la manipulación del pesado motor provoca sudoración y con frecuencia problemas musculoesqueléticos (p. ej., lumbago).

Las lesiones por frío son comunes entre los conductores de trineos motorizados. La velocidad del vehículo agrava la exposición al frío. Las partes más lesionadas del cuerpo son la cara (en casos extremos con afectación de la córnea), las orejas, las manos y los pies.

Los trineos motorizados se utilizan en zonas remotas en donde el clima, el terreno y otras condiciones contribuyen a los riesgos.

Los trabajadores que conducen trineos motorizados tienen que utilizar un casco diseñado para las condiciones de la conducción considerando los riesgos específicos de exposición producidos por el propio vehículo, las condiciones del terreno y el clima. La ropa debe ser caliente, impermeable al viento y flexible. Los diferentes tipos de actividad experimentadas durante la conducción de un trineo motorizado son difíciles de acomodar con tan sólo un sistema de vestimenta y requieren una consideración especial.

El tráfico de trineos motorizados en zonas remotas plantea también un problema de comunicación. La organización del trabajo y los equipos debe garantizar una comunicación segura con la base central. Deberán transportarse equipos especiales para hacer frente a situaciones de emergencia y proteger a la víctima durante el tiempo suficiente para que pueda llegar el equipo de rescate. Son equipos que incluyen, por ejemplo, un saco de dormir, ropa de repuesto, un maletín de primeros auxilios, una pala para quitar la nieve, un juego de herramientas y lo necesario para poder cocinar.

● PREVENCIÓN DEL ESTRÉS POR FRÍO EN CONDICIONES EXTREMAS AL AIRE LIBRE

Jacques Bittel y Gustave Savourey

La prevención de los efectos fisiopatológicos de la exposición al frío debe considerarse desde dos puntos de vista; el primero de ellos se refiere a los efectos fisiopatológicos observados durante la exposición general al frío (es decir, de todo el cuerpo); el segundo se refiere a los efectos observados durante la exposición local al frío, que afecta principalmente a las extremidades (manos y pies). Las medidas preventivas en este sentido intentan reducir la incidencia de los dos principales tipos de estrés por frío-hipotermia accidental y congelación de las extremidades. Para ello se requiere una doble estrategia: métodos fisiológicos (p. ej., alimentación e hidratación adecuadas, desarrollo de mecanismos de adaptación) y medidas farmacológicas y tecnológicas (p. ej., cobijo, abrigo). En última instancia, todos estos métodos tienen como finalidad aumentar la tolerancia al frío de todo el cuerpo o de algunas partes del mismo. Además, para asegurar una prevención eficaz es esencial que los trabajadores expuestos al frío reciban información y tengan los conocimientos necesarios sobre este tipo de lesiones.

Métodos fisiológicos para prevenir las lesiones por frío

La exposición al frío del ser humano va acompañada de vasoconstricción periférica para reducir la pérdida de calor a través de la piel, y producción de calor metabólico (esencialmente por medio de los escalofríos) que implica la necesidad de ingerir alimentos. El gasto energético necesario para todo tipo de actividad física en ambientes fríos aumenta por la dificultad de caminar sobre la nieve o el hielo y la necesidad frecuente de transportar equipos pesados. Además, la pérdida hídrica puede llegar a ser considerable por la sudoración asociada a dicha actividad física. Si el agua no se repone, puede producirse deshidratación y una mayor susceptibilidad a la congelación. La deshidratación suele agravarse, no sólo por la restricción voluntaria de la ingesta de agua, sino también por la dificultad de ingerir un fluido adecuado (el agua disponible puede estar

congelada, o es posible que tenga que obtenerse descongelando nieve), pero también por la tendencia a evitar una micción frecuente que exige abandonar el refugio. La necesidad de agua en ambientes fríos es difícil de estimar porque depende de la carga de trabajo de la persona y del aislamiento que proporcione la ropa. En cualquier caso, la ingesta de líquidos tiene que ser abundante y en forma de bebidas calientes (entre 5 y 6 l al día en caso de actividad física). La observación del color de la orina, que debe ser siempre clara, permite saber si se está ingiriendo una cantidad suficiente de líquidos.

Con respecto a la ingesta de calorías, puede suponerse que en ambientes fríos el aporte de calorías debe aumentar entre un 25 y un 50 % comparado con los climas templados o cálidos. Existe una fórmula que permite calcular la ingesta de calorías (en kcal) necesaria para mantener el equilibrio energético en condiciones de frío por persona y por día: kcal/persona por día = $4.151 - 28,62 T_a$, donde T_a es la temperatura ambiente en °C (1 kcal = 4,18 julios). Así, para una T_a de -20 °C, tiene que preverse una necesidad de unas 4.723 kcal ($2,0 \times 10^4$ J). La ingesta de alimentos no parece que tenga que modificarse cualitativamente para evitar problemas digestivos de tipo diarrea. Por ejemplo, la ración para climas fríos del Ejército de Estados Unidos consiste en 4.568 kcal ($1,9 \times 10^4$ J) en forma de alimentos deshidratados, por día y por persona, que se divide cualitativamente de la siguiente forma: 58 % hidratos de carbono, 11 % proteínas y 31 % grasas (Edwards, Roberts y Mutter 1992). Los alimentos deshidratados tienen la ventaja de ser ligeros y fáciles de preparar, aunque tienen que ser rehidratados antes de su consumo.

En la medida de lo posible, las comidas deben tomarse calientes y divididas entre el desayuno y la comida en cantidades normales. Puede complementarse la dieta con sopas calientes, galletas y barras de cereales tomadas a lo largo de todo el día, así como con un mayor aporte calórico en la cena, que aumenta la termogénesis inducida por la digestión y ayuda a que la persona se duerma. El consumo de alcohol es muy poco recomendable en climas fríos, porque el alcohol produce vasodilatación cutánea (fuente de pérdida de calor) y aumenta la diuresis (fuente de pérdida de agua), modificando también la sensibilidad de la piel y alterando la capacidad de razonamiento (que son los factores básicos para reconocer los primeros signos de una lesión por frío). El consumo excesivo de bebidas con cafeína es también

Tabla 42.21 • Mecanismos generales de adaptación al frío estudiados durante una prueba normal de exposición al frío realizada antes y después de un período de aclimatación.

Medida	Utilización de la medida como indicador de la adaptación	Variación del indicador	Tipo de adaptación
Temperatura rectal t_{re} (°C)	Diferencia entre t_{re} al término de la prueba de frío y t_{re} en condiciones termoneutras tras la aclimatación	+ 0 = -	termoneutra hipotérmica
Temperatura cutánea media t_{sk} (°C)	t_{sk} °C después/ t_{sk} °C antes, donde t_{sk} es el nivel de temperatura al término de la prueba de frío	<1 =1 >1	aislante isoaislante hipoaislante
Metabolismo medio M (W/m ²)	Cociente entre M después de la aclimatación y M antes de la aclimatación	<1 = >1	metabólica isometabólica hipometabólica

nocivo, puesto que esta sustancia tiene un efecto vasoconstrictor periférico (mayor riesgo de congelación) y un efecto diurético.

Además de una alimentación adecuada, el desarrollo de mecanismos generales y locales de adaptación puede reducir la incidencia de lesiones por frío y mejorar el rendimiento psicológico y físico al reducir el estrés causado por el frío. Sin embargo, es necesario definir los conceptos de *adaptación*, *aclimatación* y *habitua-ción* al frío, ya que estos tres términos tienen distintas implicaciones de acuerdo con el uso que hacen de ellos diferentes teóricos.

En opinión de Eagan (1963), el término *adaptación al frío* es de carácter genérico. El autor agrupa bajo el término adaptación los conceptos de adaptación genética, aclimatación y habituación. La adaptación genética se refiere a los cambios fisiológicos transmitidos genéticamente que favorecen la supervivencia en un medio hostil. Bligh y Johnson (1973) diferencian entre adaptación genética y adaptación fenotípica, definiendo el concepto de adaptación como "cambios que reducen la carga fisiológica producida por un factor de estrés en el entorno".

La *aclimatación* puede definirse como una compensación funcional que se establece a lo largo de un periodo de varios días o varias semanas en respuesta a factores complejos del entorno, como variaciones climáticas en el medio ambiente, o a un único factor en el entorno, como en el laboratorio (la "aclimatización artificial" o "aclimatación" según esos autores) (Eagan 1963).

La *habitua-ción* es un cambio en las respuestas fisiológicas como resultado de la disminución de las respuestas del sistema nervioso central a ciertos estímulos (Eagan, 1963). Esa habituación puede ser específica o general. La habituación específica es el proceso que tiene lugar cuando una cierta parte del cuerpo se acostumbra a unos estímulos repetidos. La adaptación local o general al frío se adquiere generalmente por medio de la habituación.

Tanto en el laboratorio como en ambientes naturales se han observado diferentes tipos de adaptación general al frío. Hammel (1963) propuso una clasificación de estos diferentes tipos de adaptación. La adaptación de tipo metabólico se manifiesta por el mantenimiento de la temperatura interna y una mayor producción de calor metabólico, como se observa en los Alacalufs de la Tierra del Fuego o en la población nativa del Artico. La adaptación de tipo aislante se manifiesta por el mantenimiento de la temperatura interna, pero también por una disminución de la temperatura cutánea media (aborígenes de las costas tropicales de Australia). La adaptación de tipo hipotérmica se refleja en un descenso más o menos considerable de la temperatura interna (tribus del desierto de Kalahari, indios quechua, indios del Perú). Finalmente, la adaptación puede ser de tipo aislante e hipotérmico mixto (aborígenes del centro de Australia, japoneses, buzos Amas coreanos).

En realidad, esta clasificación es de carácter meramente cualitativo y no tiene en cuenta todos los componentes del equilibrio térmico. Por consiguiente, hemos propuesto recientemente una clasificación que no es sólo cualitativa, sino también cuantitativa (véase la Tabla 42.21). La modificación de la temperatura corporal por sí sola no indica necesariamente una adaptación general al frío. De hecho, un cambio en el retraso del inicio de los escalofríos es una buena indicación de la sensibilidad del sistema de regulación térmica. Bittel (1987) ha propuesto también una reducción de la deuda térmica como un indicador de la adaptación al frío. Además, este autor demostró la importancia de la ingesta calórica para los mecanismos de adaptación. Nosotros hemos confirmado esta observación en nuestro laboratorio; las personas aclimatadas al frío en el laboratorio a 1 °C durante 1 mes de manera discontinua desarrollaron una adaptación de tipo hipotérmico (Savourey y cols. 1994, 1996). La hipotermia está directamente relacionada con la reducción del porcentaje de

masa de grasa corporal. El nivel de capacidad física aeróbica ($VO_{2\max}$) no parece influir en el desarrollo de este tipo de adaptación al frío (Bittel y cols. 1988; Savourey, Vallerand y Bittel 1992). La adaptación de tipo hipotérmico parece ser la que más ventajas ofrece, puesto que mantiene las reservas de energía y retrasa la aparición de escalofríos sin que la hipotermia sea peligrosa (Bittel y cols. 1989). Trabajos recientes de laboratorio han demostrado que se puede inducir este tipo de adaptación sometiendo a las personas a inmersión intermitente de las extremidades inferiores en agua helada. Además, este tipo de aclimatación produce el "síndrome polar de la triyodotironina" descrito por Reed y sus colaboradores en 1990 en personas que habían pasado largos periodos de tiempo en la región polar. Se trata de un síndrome complejo que sigue sin comprenderse del todo y se manifiesta principalmente por una disminución de la triyodotironina en ambientes térmicamente neutros y durante la exposición aguda al frío. Ahora bien, todavía no se ha definido la relación entre este síndrome y la adaptación de tipo hipotérmico (Savourey y cols. 1996).

La adaptación local de la extremidades ha sido ampliamente documentada (LeBlanc 1975). Se ha estudiado tanto en tribus nativas como en grupos profesionales expuestos naturalmente a frío en las extremidades (esquimales, japoneses, pescadores de la isla de Gaspé, pescadores ingleses, carteros en Quebec) y en personas adaptadas artificialmente en el laboratorio. Todos los estudios han demostrado que esta adaptación se manifiesta por un aumento de la temperatura cutánea, menor dolor y una vasodilatación paradójicamente más rápida que se produce con temperaturas cutáneas más altas, evitando así la congelación. Los cambios se deben principalmente a un aumento del flujo sanguíneo periférico y no a la producción local de calor en el músculo, como nosotros hemos demostrado recientemente (Savourey, Vallerand y Bittel 1992). La inmersión de las extremidades varias veces al día en agua fría (5 °C) durante algunas semanas es suficiente para inducir estos mecanismos de adaptación locales. No obstante, existen pocos datos científicos sobre estos diferentes tipos de adaptación.

Métodos farmacológicos para prevenir las lesiones por frío

La administración de fármacos para aumentar la tolerancia al frío ha sido objeto de una serie de estudios. La tolerancia general al frío aumenta con fármacos que favorecen la termogénesis. De hecho, en el ser humano se ha demostrado que los escalofríos van acompañados por un aumento considerable de la oxidación de hidratos de carbono y un mayor consumo de glucógeno muscular (Martineau y Jacob 1988). Los compuestos metilxantínicos ejercen sus efectos estimulando el sistema simpático, exactamente igual que el frío, de manera que pueden aumentar la oxidación de hidratos de carbono. Sin embargo, Wang, Man y Bel Castro (1987) han demostrado que la teofilina no consigue evitar el descenso de la temperatura en personas mantenidas en reposo en condiciones de frío. La combinación de cafeína y efedrina logra un mejor mantenimiento de la temperatura corporal en las mismas condiciones (Vallerand, Jacob y Kavanagh 1989), aunque la ingestión de cafeína sola no modifica ni la temperatura corporal ni la respuesta metabólica (Kenneth y cols. 1990). La prevención farmacológica de los efectos del frío a nivel general sigue siendo objeto de investigación. A escala local, se han realizado estudios sobre la prevención farmacológica de la congelación. Se han estudiado algunos fármacos utilizando un modelo animal de congelación. Los antiagregantes plaquetarios, los corticoides y algunas otras sustancias tienen un efecto protector siempre que se administren antes del periodo de recalentamiento. Hasta donde sabemos, no se ha realizado ningún estudio similar en seres humanos.

Métodos técnicos para prevenir las lesiones por frío

Son un componente básico de la prevención de las lesiones por frío y, sin ellos, los seres humanos serían incapaces de vivir en las zonas climáticas frías. La construcción de refugios, el uso de una fuente de calor y las prendas de abrigo permiten crear un microclima favorable para que el ser humano pueda habitar en regiones muy frías. Ahora bien, no siempre se dispone de las ventajas aportadas por la civilización moderna (como en el caso de expediciones civiles o militares, víctimas de naufragios, personas lesionadas, vagabundos, víctimas de avalanchas, etc.). Tales grupos son, por tanto, especialmente vulnerables a las lesiones por frío.

Precauciones para el trabajo en ambientes fríos

El problema del acondicionamiento para el trabajo en ambientes fríos afecta principalmente a las personas que no están acostumbradas a trabajar en ambientes fríos y/o que proceden de zonas climáticas templadas. Es muy importante que los trabajadores sean informados de las lesiones que puede causar el frío, pero también deben ser informados de una serie de conductas favorables. Todas las personas que trabajen en regiones frías deben conocer los primeros signos de lesión, especialmente de las lesiones locales (color de la piel, dolor). La conducta con respecto a la ropa es vital: el uso de varias capas de ropa permite a la persona ajustar el aislamiento proporcionado por la ropa a los niveles variables de gasto energético y estrés externo. Las prendas impermeables (lluvia, sudor) deben mantenerse secas. Debe prestarse una gran atención a la protección de las manos y los pies (no usar vendas apretadas, atención a una cobertura adecuada, cambio frecuente de calcetines —por ejemplo, dos o tres veces al día— debido a la sudoración). Debe evitarse el contacto directo con todos los objetos metálicos fríos (riesgo de congelación inmediata). La ropa debe estar garantizada contra el frío y haber sido probada antes de la exposición al frío. Deben recordarse las recomendaciones dietéticas (con atención a la ingesta calórica y a las necesidades de hidratación). El abuso de alcohol, cafeína y nicotina debe estar prohibido. Tiene que comprobarse el buen estado de los equipos accesorios (refugio, tiendas, sacos de dormir) y eliminar la condensación en las tiendas y en los sacos de dormir para evitar la formación de hielo. Los trabajadores no deben soplar en los guantes para calentarlos, ya que se puede formar hielo. Por último, los trabajadores deben recibir recomendaciones para mejorar su forma física. De hecho, un buen nivel de capacidad física aeróbica permite una mayor termogénesis en ambientes de frío extremo (Bittel y cols. 1988) y una mayor resistencia física, un factor favorable debido al mayor consumo de energía que conlleva la actividad física en ambientes fríos.

Las personas de mediana edad tienen que someterse a una estrecha vigilancia, ya que son más susceptibles a las lesiones por frío que las personas jóvenes por su respuesta vascular más limitada. Un cansancio excesivo y una profesión sedentaria aumentan el riesgo de lesión. Las personas con ciertos trastornos médicos (urticaria por frío, síndrome de Raynaud, angina de pecho, congelación previa) deben evitar su exposición a un frío intenso. Otros consejos que también pueden ser útiles son: proteger la piel expuesta contra la radiación solar, proteger los labios con cremas especiales y proteger los ojos de la radiación ultravioleta con gafas de sol.

Cuando surja un problema en una zona fría, los trabajadores deben mantener la calma, nunca deben separarse del grupo y deben intentar mantener su calor corporal cavando hoyos y apretándose unos contra otros. Debe prestarse una atención especial a la provisión de alimentos y a los medios para solicitar ayuda (radio, cohetes de socorro, espejos para enviar señales, etc.). Cuando exista el riesgo de inmersión en aguas frías,

deberán suministrarse botes salvavidas, así como equipos impermeables al agua y que proporcionen un buen aislamiento térmico. En caso de que se produzca un naufragio y no se disponga de botes salvavidas, la persona debe intentar limitar la pérdida de calor al máximo agarrándose a los materiales flotantes, encogiéndose y nadando lentamente con el tórax fuera del agua, puesto que la convección creada al nadar aumenta considerablemente la pérdida de calor. El agua del mar no debe beberse por su alto contenido de sales.

Modificación de las tareas en ambientes fríos

En una zona fría, las tareas se modifican considerablemente. El peso de la ropa, el transporte de cargas (tiendas, alimentos, etc.) y la necesidad de atravesar terrenos difíciles aumenta la energía consumida por la actividad física. Además, la coordinación de los movimientos y la destreza manual se ven dificultadas por la ropa. El campo visual se reduce con frecuencia por el uso de gafas de sol. Asimismo, la percepción del ambiente se altera y reduce a 6 m cuando la temperatura del aire seco es inferior a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o cuando sopla viento. La visibilidad puede ser nula en caso de nieve o niebla. El uso de guantes puede dificultar las tareas manuales de precisión. La condensación puede hacer que se forme una capa de hielo sobre las herramientas y si éstas se agarran con la mano desnuda, existe el riesgo de que produzcan una congelación. La estructura física de las prendas de vestir se altera en condiciones de frío extremo y el hielo que se forma como resultado de la congelación y la condensación suelen atascar las cremalleras. Finalmente, los combustibles deben protegerse contra la congelación mediante el uso de anticongelantes.

Por consiguiente, para conseguir un rendimiento óptimo de los trabajadores en ambientes fríos, éstos deben llevar varias capas de ropa, protegerse debidamente las extremidades, adoptar medidas para evitar la condensación en la ropa, las herramientas y las tiendas e interrumpir cada cierto tiempo el trabajo para recalentarse en un refugio con calefacción. El trabajo debe organizarse en una secuencia de tareas sencillas, de ser posible con dos equipos de trabajo, uno que trabaje mientras el otro se recalienta. Los trabajadores no deben mantenerse inactivos en los ambientes fríos, no deben trabajar en solitario ni deben apartarse de los caminos frecuentados. Debe designarse a una persona competente para que se haga responsable de la protección y la prevención de accidentes.

En conclusión, parece ser que un buen conocimiento de las lesiones por frío, el conocimiento del entorno, una buena preparación (aptitud física, alimentación, inducción de mecanismos de adaptación), una ropa apropiada y una distribución adecuada de las tareas puede evitar las lesiones por frío. Cuando se produce una lesión, una rápida asistencia y un tratamiento inmediato pueden evitar lo peor.

Prendas protectoras: trajes impermeables

El uso de trajes impermeables tiene como finalidad la protección contra las consecuencias de una inmersión accidental y, por consiguiente, afecta no sólo a todos los trabajadores que pueden sufrir este tipo de accidentes (marinos, pilotos de aire), sino también a los que trabajan en aguas frías (buzos profesionales). En la Tabla 42.22, extraída del *Oceanographic Atlas of the North American Ocean*, se indica que incluso en el Mediterráneo occidental, la temperatura del agua rara vez sobrepasa los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando se produce una inmersión, el tiempo de supervivencia de una persona vestida con chaleco salvavidas pero sin equipo antiinmersión se ha estimado en 1,5 horas en el mar Báltico y de 6 horas en el Mediterráneo en enero, mientras que en agosto es de 12 horas en el Báltico y limitado sólo por el agotamiento en el Mediterráneo. El uso de equipos protectores es, por tanto, una necesidad para las personas que trabajan en el mar,

Tabla 42.22 • Número medio de días al mes y al año con una temperatura inferior a 15 °C.

Mes	Báltico occidental	Golfo de Alemania	Oceano Atlántico (a la altura de Brest)	Mediterráneo occidental
Enero	31	31	31	31
Febrero	28	28	28	28
Marzo	31	31	31	31
Abril	30	30	30	26 a 30
Mayo	31	31	31	8
Junio	25	25	25	de vez en cuando
Julio	4	6	de vez en cuando	de vez en cuando
Agosto	4	de vez en cuando	de vez en cuando	0
Septiembre	19	3	de vez en cuando	de vez en cuando
Octubre	31	22	20	2
Noviembre	30	30	30	30
Diciembre	31	31	31	31
Total	295	268	257	187

especialmente cuando corren el riesgo de una inmersión sin poder recibir asistencia inmediata.

Las dificultades de fabricar este tipo de equipos son complejas, porque tienen que tenerse en cuenta requisitos múltiples y con frecuencia conflictivos. Las limitaciones son: a) la necesidad de una protección térmica eficaz tanto en el aire como en el agua, sin impedir la evaporación del sudor; b) la necesidad de mantener a la persona en la superficie del agua, y c) las tareas que deben realizarse. El equipo debe, por tanto, diseñarse de acuerdo con el riesgo implicado. Para ello tendrán que conocerse con detalle las condiciones anticipadas: la temperatura ambiente (temperatura del agua, aire, viento), el tiempo que transcurrirá hasta recibir ayuda, y la presencia o ausencia de un bote salvavidas, por ejemplo. Las características aislantes de las prendas de vestir dependen de los materiales utilizados, los contornos del cuerpo, la compresibilidad del tejido protector (que determina el grosor de la capa de aire aprisionada en la ropa dependiendo de la presión ejercida por el agua), y la humedad que puede acumularse en la ropa. La humedad de la ropa depende principalmente de su resistencia al agua. Para la evaluación de estos equipos tiene que tenerse en cuenta la eficacia de la protección térmica proporcionada, no sólo en el agua, sino también contra el aire frío. Tienen que estimarse los tiempos probables de supervivencia dependiendo de la temperatura del agua y del aire, así como del estrés térmico previsto y el posible estorbo mecánico de la ropa (Boutelier, 1979). Finalmente, las pruebas de impermeabilidad realizadas con personas en movimiento permitirán detectar posibles deficiencias en este sentido. En definitiva, el equipo antiinmersión debe cumplir tres requisitos:

- Debe proporcionar una protección térmica eficaz tanto en el agua como en el aire.
- Debe ser cómodo.
- No debe restringir demasiado los movimientos ni pesar mucho.

Para cumplir estos requisitos, se han adoptado dos principios: o bien utilizar un material que no sea impermeable, pero que mantenga sus propiedades aislantes en el agua (como es el caso

del llamado traje "húmedo"), o bien garantizar la total impermeabilidad con materiales que además sean aislantes (traje "seco"). En la actualidad, el principio del traje húmedo se aplica cada vez menos, sobre todo en aviación. En la última década, la Organización Marítima Internacional ha recomendado el uso de un traje antiinmersión o de supervivencia que cumpla los criterios del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) adoptado en 1974. Son criterios que se refieren en particular al aislamiento, a la filtración mínima de agua al interior del traje, al tamaño del traje, a su ergonomía, a su compatibilidad con las ayudas para la flotación y a los procedimientos de prueba. Ahora bien, la aplicación de estos criterios plantea una serie de problemas (especialmente, los relacionados con la definición de las pruebas que deben aplicarse).

Aunque los trajes antiinmersión se utilizan desde hace mucho tiempo (los esquimales han utilizado siempre pieles e intestinos de foca cosidos entre sí) estos trajes son difíciles de perfeccionar y es probable que los criterios de normalización se revisen en los próximos años.

INDICES DE FRIO Y NORMAS SOBRE EL FRIO

Ingvar Holmér

El estrés por frío se define como la carga térmica impuesta al organismo con la cual se pueden esperar pérdidas de calor mayores a las normales y acciones termorreguladores compensadoras para mantener la termoneutralidad del cuerpo. Las pérdidas normales de calor, por tanto, se refieren a las que experimentan normalmente las personas durante las condiciones de vida al aire libre (temperatura del aire de 20 a 25 °C).

Al contrario de lo que ocurre en condiciones de calor, la ropa y la actividad física son factores positivos, en el sentido de que cuanto más ropa se lleve, más se reduce la pérdida de calor y cuanto más actividad física se realice, mayor es la producción interna de calor y la posibilidad de compensar la pérdida de calor. En consecuencia, los métodos de evaluación centrados en la determinación de la protección necesaria (ropa) con unos ciertos niveles de actividad física, exige conocer los niveles de actividad física con unos ciertos valores de protección o "temperatura" o unas ciertas combinaciones de ambos (Burton y Edholm 1955; Holmér 1988; Parsons 1993).

No obstante, es importante reconocer que existen límites en la cantidad de ropa que puede utilizarse y en el alto nivel de actividad que puede mantenerse durante largos períodos de tiempo. Las prendas de abrigo suelen ser abultadas y entorpecen los movimientos. Se necesita más espacio para el desplazamiento y los movimientos. El nivel de actividad física puede estar determinado por el ritmo de trabajo impuesto, aunque es preferible que sea controlado por la persona. Dependiendo de su capacidad para el trabajo físico, todas las personas tienen una tasa máxima de producción de energía que pueden sostenerse durante largos períodos de tiempo. Por consiguiente, una mayor capacidad física para el trabajo supone una ventaja para exposiciones extremas prolongadas.

En este artículo se describen los métodos de evaluación y control del estrés por frío. Los problemas relacionados con los aspectos organizativos, psicológicos, médicos y ergonómicos se abordan en otras secciones.

Trabajo en ambientes fríos

El trabajo en ambientes fríos engloba una diversidad de condiciones naturales y artificiales. La exposición al frío más extremo

Tabla 42.23 • Temperaturas del aire en distintos ambientes de trabajo expuestos al frío.

-120 °C	Cámara climatizada para crioterapia humana
-90 °C	Temperatura mínima en la base Vostock del Polo Sur
-55 °C	Cámara frigorífica para pescados y producción de productos desecados y congelados
-40 °C	Temperatura "normal" en una base polar
-28 °C	Cámara frigorífica para productos congelados
+2 a +12 °C	Almacenamiento, preparación y transporte de alimentos frescos
entre -50 y -20 °C	Temperatura media en enero en el norte de Canadá y Siberia
entre -20 y -10 °C	Temperatura media en enero en el sur de Canadá, norte de Escandinavia y centro de Rusia
entre -10 y 0 °C	Temperatura media en enero en el norte de Estados Unidos, sur de Escandinavia, Europa central, algunas zonas de Oriente Medio y Extremo Oriente, centro y norte de Japón

Fuente: Adaptado de Holmér 1993.

se produce en las misiones espaciales. Con todo, las condiciones de trabajo en ambientes fríos en la superficie de la tierra abarcan un rango de temperaturas de más de 100 °C (Tabla 42.23). Lógicamente, la magnitud y severidad del estrés por frío aumenta cuanto menor es la temperatura ambiente.

De la Tabla 42.23 se deduce claramente que grandes poblaciones de trabajadores al aire libre experimentan estrés por frío más o menos intenso en muchos países. Además, en todo el mundo se realizan trabajos en cámaras frigoríficas. Las encuestas realizadas en los países escandinavos revelan que aproximadamente el 10 % de la población activa considera el frío como un importante factor negativo en el lugar de trabajo.

Tipos de estrés por frío

Pueden definirse los siguientes tipos de estrés por frío:

- enfriamiento de todo el cuerpo
- enfriamiento local, que puede ser enfriamiento de las extremidades, enfriamiento cutáneo por convección (enfriamiento por el viento), enfriamiento cutáneo por conducción (enfriamiento por contacto) y enfriamiento del tracto respiratorio.

Lo más probable es que varios, sino todos estos tipos, estén presentes al mismo tiempo.

La evaluación del estrés por frío exige determinar el riesgo de uno o más de los efectos mencionados. En general, para una primera clasificación general, se puede recurrir a la Tabla 42.24. El estrés por frío aumenta cuanto menor sea el nivel de actividad física y la protección disponible.

La información que contiene esta Tabla debe interpretarse como una señal para la acción. En otras palabras, el tipo particular de estrés por frío debe evaluarse y controlarse cuando así sea necesario. A temperaturas moderadas predominan los problemas de malestar y pérdidas funcionales como consecuencia del enfriamiento local. A temperaturas más bajas, el factor más importante es el riesgo inminente de lesión por frío como secuela de los otros efectos. Muchos de los efectos no presentan una relación directa con el nivel de estrés y en ningún

caso puede descartarse que un cierto problema causado por el frío persista también fuera del rango de temperaturas indicado en la Tabla.

Métodos de evaluación

Los métodos para evaluar el estrés por frío se describen en el Informe Técnico de ISO 11079 (ISO TR 11079, 1993). Otras normas referentes a la determinación de la producción de calor metabólico (ISO 8996, 1988), la estimación de las características térmicas de las prendas de vestir (ISO 9920, 1993) y las mediciones fisiológicas (ISO DIS 9886, 1989c) proporcionan información complementaria útil para la evaluación del estrés por frío.

En la Figura 42.21 se resumen las relaciones entre factores climáticos, efecto esperado de enfriamiento y método de evaluación recomendado. A continuación se describen los métodos y la recopilación de datos con más detalle.

Enfriamiento de todo el cuerpo

El riesgo de enfriamiento de todo el cuerpo se determina analizando las condiciones necesarias para mantener el equilibrio térmico del organismo. El nivel de aislamiento de las prendas de vestir necesario para mantener el equilibrio térmico con ciertos niveles de carga fisiológica se calcula utilizando una ecuación matemática del equilibrio térmico. El aislamiento necesario así calculado, IREQ, puede considerarse como un índice del estrés por frío. Tal valor indica un nivel de protección (expresado en clo). Cuanto mayor sea dicho valor, mayor será el riesgo de un desequilibrio térmico corporal. Los dos niveles de carga fisiológica considerados son nivel bajo (neutral o sensación de "bienestar") y nivel alto (ligero frío o sensación de frío).

La utilización del IREQ requiere una evaluación en tres etapas:

- determinación del IREQ para unas ciertas condiciones de exposición;
- comparación del IREQ con el nivel de protección proporcionado por la ropa,
- determinación del tiempo de exposición si el nivel de protección es inferior al IREQ.

Tabla 42.24 • Clasificación esquemática del trabajo en ambientes fríos.

Temperatura	Tipo de trabajo	Tipo de estrés por frío
entre 10 y 20 °C	Trabajo sedentario, ligero, trabajo manual de precisión	Enfriamiento de todo el cuerpo, enfriamiento de las extremidades
entre 0 y 10 °C	Trabajo sedentario y estacionario, trabajo ligero	Enfriamiento de todo el cuerpo, enfriamiento de las extremidades
entre -10 y 0 °C	Trabajo físico ligero, manipulación de herramientas y materiales	Enfriamiento de todo el cuerpo, enfriamiento de las extremidades, enfriamiento por contacto
entre -20 y -10 °C	Actividad moderada, manipulación de metales y líquidos (gasolina, etc.), condiciones de viento	Enfriamiento de todo el cuerpo, enfriamiento de las extremidades, enfriamiento por contacto, enfriamiento convectivo
por debajo de -20 °C	Todo tipo de trabajos	Todo tipo de estrés por frío

Tabla 42.25 • Clasificación de los niveles de tasa metabólica.

Clase	Rango de tasa metabólica, <i>M</i>		Valor que debe utilizarse para calcular la tasa metabólica media		Ejemplos
	Por unidad de superficie cutánea (W/m^2)	Para una superficie cutánea media de 1,8 m ² (W)	(W/m^2)	(W)	
0 Reposo	$M \leq 65$	$M \leq 117$	65	117	Reposo
1 Tasa metabólica baja	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	100	180	Sentado cómodamente: trabajo manual ligero (escribir, mecanografiar, dibujar, coser, contabilidad); trabajo con manos y brazos (pequeñas herramientas manuales, inspección, montaje o clasificación de materiales ligeros); trabajo con brazos y piernas (conducir un vehículo en condiciones normales, manejar un conmutador de pedal o pedales). De pie: perforación (piezas pequeñas); fresado (piezas pequeñas); bobinado; devanado de inducidos pequeños; maquinado con herramientas de poca potencia; caminar (velocidad de hasta 3,5 km/h).
2 Tasa metabólica moderada	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	165	297	Trabajo continuo de brazos y piernas (clavado con martillo, tareas de llenado); trabajo de brazos y piernas (conducción campo a través de camiones, tractores o maquinaria de construcción); trabajo de brazos y tronco (trabajo con martillo neumático, montaje de tractores, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, desherbado, cavado con azada, recolección de frutas o verduras); empujar o tirar de vagones o carretillas de peso ligero; caminar a una velocidad de 3,5 km/h; forjado.
3 Tasa metabólica elevada	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	230	414	Trabajo intenso de brazos y tronco: transportar materiales pesados; excavar; trabajo con martillo de fragua; aserrado, cepillado o cincelado de maderas duras; segado manual; cavar; caminar a una velocidad de entre 5,5 km/h y 7 km/h. Empujar o tirar de vagones o carretillas con cargas pesadas; desbarbado de piezas fundidas; colocación de bloques de hormigón.
4 Tasa metabólica muy alta	$M > 260$	$M > 468$	290	522	Actividad muy intensa a un ritmo rápido o máximo; trabajar con un hacha; excavar o cavar a un ritmo rápido; subir escaleras, trepar o escalar; caminar a paso rápido subiendo pequeños escalones, correr, caminar a una velocidad superior a 7 km/h.

Fuente: ISO 7243 1989a.

En la Figura 42.22 se indican los valores IREQ para un bajo nivel de carga fisiológica (sensación térmica neutral) y diferentes niveles de actividad física.

Los métodos para estimar los niveles de actividad física se describen en ISO 7243 (Tabla 42.25).

Una vez determinado el IREQ para unas ciertas condiciones, este valor se compara con el nivel de protección proporcionado por la ropa, que depende del valor del aislamiento resultante (I_{cl}) y se mide de acuerdo con el proyecto de norma europea prEN-342 (1992). También puede derivarse de las tablas de los valores de aislamiento básico (ISO 9920).

En la Tabla 42.26 se indican los valores de aislamiento básico correspondientes a vestimentas típicas. Son valores que han de corregirse para tener en cuenta la reducción que supuestamente produce el movimiento del cuerpo y la ventilación. Normalmente no se realiza ninguna corrección para tener en cuenta el nivel de reposo, sino que los valores se reducen un 10 % para el trabajo ligero y un 20 % para niveles de actividad más altos.

El nivel de protección proporcionado por las mejores prendas de vestir se sitúa entre 3 y 4 clo. Cuando la ropa disponible no proporciona un aislamiento suficiente, se calcula un límite de tiempo de exposición en las condiciones reales. El límite depende de la diferencia entre el aislamiento necesario de la ropa y el proporcionado por la ropa disponible. Puesto que ya no se consigue una protección completa contra el enfriamiento, el límite de tiempo se calcula en función de la reducción prevista de

contenido de calor del cuerpo. Igualmente se puede calcular un tiempo de recuperación para reponer la misma cantidad de calor.

En la Figura 42.23 se indican los límites de tiempo para trabajos ligeros y moderados con dos niveles de aislamiento de la ropa. Los valores pueden extrapolarse para estimar los límites de tiempo con otras combinaciones de prendas de vestir. La Figura 42.24 puede utilizarse como directriz para evaluar el tiempo de exposición cuando se dispone de las mejores prendas protectoras.

Las exposiciones intermitentes suelen conllevar períodos de trabajo interrumpidos por descansos para recalentamiento o por períodos de trabajo en ambientes más cálidos. En la mayoría de los casos, los trabajadores no se cambian de ropa o sólo se cambian algunas prendas (principalmente por motivos prácticos). En consecuencia, el IREQ correspondiente a una exposición intermitente puede calcularse como una media ponderada en el tiempo. El período promediado no debe ser mayor de una o dos horas. En la Figura 42.24 se indican los valores IREQ ponderados en el tiempo para ciertos tipos de exposición intermitente. Los límites de tiempo son más orientativos que obligatorios y corresponden a una persona media. La variación individual en términos de características, requisitos y preferencias es muy grande y este hecho debe ser tenido en cuenta mediante la selección de unas prendas de vestir que permitan una gran flexibilidad para ajustar el nivel de protección.

Tabla 42.26 • Ejemplos de valores del aislamiento básico (I_{cl}) proporcionado por la ropa*.

Conjunto de prendas de vestir	I_{cl} ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)	I_{cl} (clo)
Calzoncillos, camisa de manga corta, pantalones ajustados, medias, zapatos	0,08	0,5
Calzoncillos, camisa, pantalones ajustados, calcetines, zapatos	0,10	0,6
Calzoncillos, mono, calcetines, zapatos	0,11	0,7
Calzoncillos, camisa, mono, calcetines, zapatos	0,13	0,8
Calzoncillos, camisa, pantalones, bata corta, calcetines, zapatos	0,14	0,9
Calzoncillos, camiseta, calzoncillos, camisa, mono, medias, zapatos	0,16	1,0
Calzoncillos, camiseta, camisa, pantalones, chaqueta, chaleco, calcetines, zapatos	0,17	1,1
Calzoncillos, camisa, pantalones, chaqueta, mono, calcetines, zapatos	0,19	1,3
Camiseta, calzoncillos, pantalones aislantes, chaqueta aislante, calcetines, zapatos	0,22	1,4
Calzoncillos, camiseta, camisa, pantalones ajustados, mono aislante, medias, zapatos	0,23	1,5
Calzoncillos, camiseta, camisa, pantalones, chaqueta interior, chaqueta exterior, gorro, guantes, calcetines, zapatos	0,25	1,6
Calzoncillos, camiseta, camisa, pantalones interiores, chaqueta interior, chaqueta exterior, pantalones exteriores, calcetines, zapatos	0,29	1,9
Calzoncillos, camiseta, camisa, pantalones interiores, chaqueta interior, chaqueta exterior, pantalones exteriores, calcetines, zapatos, gorro, guantes	0,31	2,0
Camiseta, calzoncillos, pantalones interiores aislantes, chaqueta interior aislante, pantalones exteriores, chaqueta exterior, calcetines, zapatos	0,34	2,2
Camiseta, calzoncillos, pantalones interiores aislantes, chaqueta aislante, pantalones exteriores, calcetines, zapatos, gorro, guantes	0,40	2,6
Camiseta, calzoncillos, pantalones interiores aislantes, chaqueta interior aislante, pantalones exteriores y parka con forro, calcetines, zapatos, gorro, manoplas	0,40–0,52	2,6–3,4
Trajes árticos	0,46–0,70	3–4,5
Sacos de dormir	0,46–1,1	3–8

*El nivel teórico de protección se refiere exclusivamente a condiciones estáticas sin viento (en reposo). Los valores tendrán que reducirse con niveles de actividad mayores.
Fuente: Adaptado de ISO/TR-11079 1993.

Figura 42.21 • Evaluación del estrés por frío en relación con los factores climáticos y los efectos del enfriamiento.

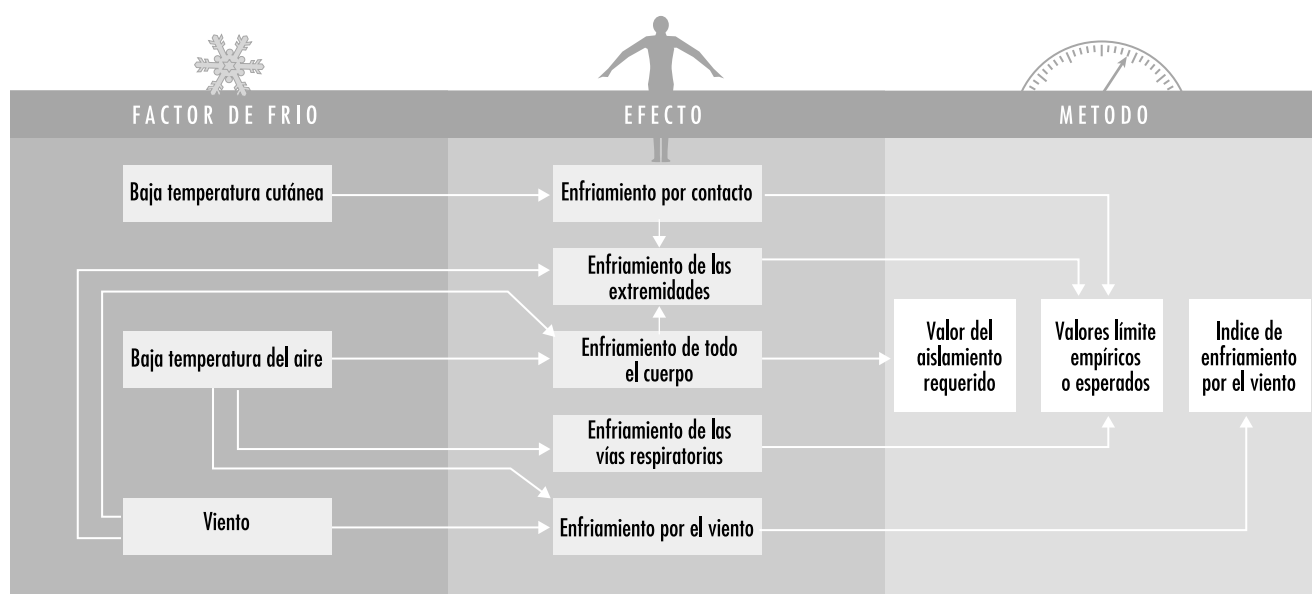
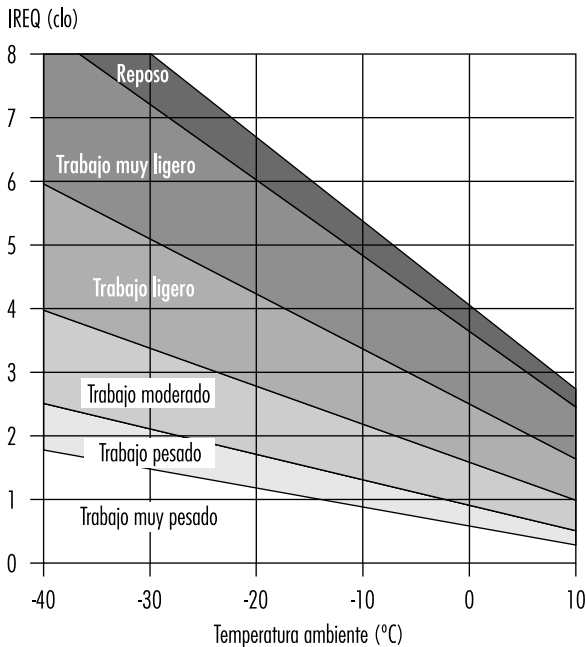


Figura 42.22 • Valores IREQ necesarios para mantener un bajo nivel de estrés fisiológico (sensación de neutralidad térmica) a distintas temperaturas.



Enfriamiento de las extremidades

Las extremidades —en particular los dedos de las manos y los pies— son más propensas al enfriamiento. A no ser que la sangre caliente pueda aportar calor suficiente, la temperatura de los tejidos descenderá progresivamente. El flujo sanguíneo en las extremidades depende de las necesidades energéticas (para la actividad muscular) y las necesidades de regulación térmica.

Figura 42.23 • Límites de tiempo para el trabajo ligero y moderado con dos niveles de aislamiento de la ropa.

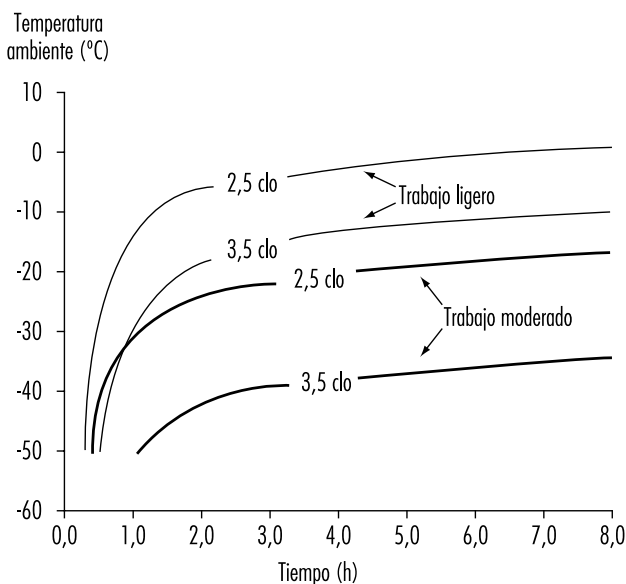
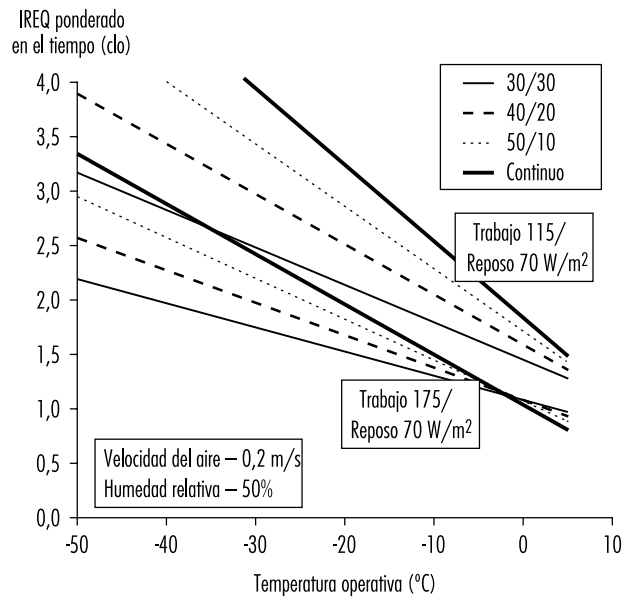


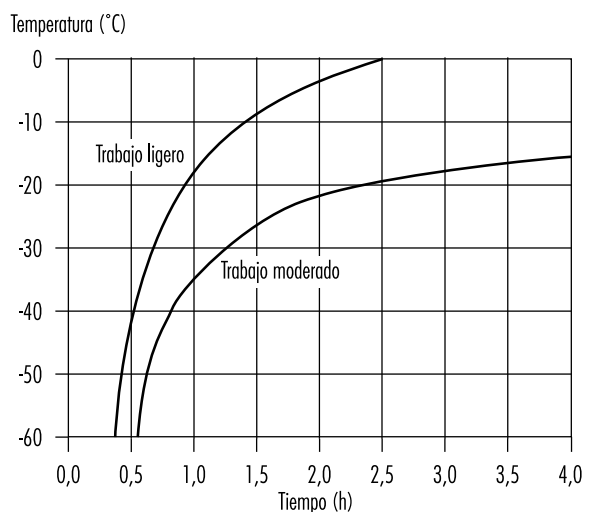
Figura 42.24 • Valores IREQ ponderados en el tiempo para la exposición intermitente y continua al frío.



Cuando el equilibrio térmico de todo el cuerpo se ve amenazado, la vasoconstricción periférica ayuda a reducir las pérdidas de calor en el interior del cuerpo a expensas de los tejidos periféricos. Cuando se realiza una actividad física intensa, se produce una mayor cantidad de calor y el flujo sanguíneo en la extremidades puede mantenerse más fácilmente.

La protección proporcionada por los guantes y el calzado en términos de reducción de las pérdidas de calor es limitada. Cuando el aporte de calor a las extremidades es pequeño (p. ej., en reposo o con una actividad ligera), el aislamiento necesario para mantener las manos y los pies calientes es muy grande

Figura 42.25 • Protección de los dedos.



Las curvas indican los límites permisibles de tiempo y temperatura para la exposición de los dedos al frío en condiciones de trabajo ligero o moderado (datos basados en los cálculos del intercambio de calor de las manos y en una temperatura crítica en las puntas de los dedos de 5 °C).

Tabla 42.27 • Clasificación de los guantes en función de su resistencia térmica (*I*) al enfriamiento convectivo.

Clase	<i>I</i> (m ² °C/W)
1	0,10 ≤ <i>I</i> < 0,15
2	0,15 ≤ <i>I</i> < 0,22
3	0,22 ≤ <i>I</i> < 0,30
4	<i>I</i> ≥ 0,30

Fuente: Basado en EN 511 (1993).

Tabla 42.28 • Clasificación de los guantes en función de su resistencia térmica al enfriamiento por contacto (*I*).

Clase	<i>I</i> (m ² °C/W)
1	0,025 ≤ <i>I</i> < 0,05
2	0,05 ≤ <i>I</i> < 0,10
3	0,10 ≤ <i>I</i> < 0,15
4	<i>I</i> ≥ 0,15

Fuente: Basado en EN 511 (1993).

Tabla 42.29 • Índice de enfriamiento por el viento (Wind Chill Index, WCI), temperatura equivalente de enfriamiento (*T*_{eq}) y tiempo de congelación de la carne al desnudo

WCI (W/m ²)	<i>T</i> _{eq} (°C)	Efecto
1.200	-14	Mucho frío
1.400	-22	Frío glacial
1.600	-30	Congelación de la carne expuesta
1.800	-38	en menos de 1 hora
2.000	-45	Congelación de la carne expuesta
2.200	-53	en menos de 1 minuto
2.400	-61	Congelación de la carne expuesta
2.600	-69	en menos de 30 segundos

(Van Dilla, Day y Siple 1949). La protección proporcionada por guantes y manoplas consigue sólo retrasar la velocidad del enfriamiento y, en consecuencia, alarga el tiempo transcurrido hasta que la temperatura desciende a un nivel crítico. Con niveles de actividad mayores, una mejor protección permite mantener calientes los pies y las manos a temperaturas ambientales más bajas.

No se dispone de ningún método normalizado para la evaluación del enfriamiento de las extremidades. Por lo demás, en ISO TR 11079 se sugieren unas temperaturas críticas de 24 °C y 15 °C en las manos para niveles de estrés leve y grave, respectivamente. La temperatura en la punta de los dedos puede ser

Figura 42.26 • Relación entre el riesgo esperado de estrés por frío y los procedimientos de medición necesarios.



fácilmente entre 5 y 10 °C más baja que la temperatura cutánea media de la mano o la temperatura del dorso de la mano.

La información que se ofrece en la Figura 42.25 es útil para determinar los tiempos de exposición permisibles y la protección necesaria. Las dos curvas se refieren a condiciones con y sin vasoconstricción (alto y bajo nivel de actividad). Además, se supone que el aislamiento de los dedos es alto (2 clo) y que se utiliza una ropa adecuada.

Para los dedos de los pies se pueden elaborar unas curvas similares. Con todo, es posible que el número de clo tenga que aumentar para conseguir una protección adecuada de los pies con tiempos de exposición más largos. No obstante, de las Figuras 42.23 y 42.25 se deduce que el enfriamiento de las extremidades suele ser un factor más crítico que el enfriamiento de todo el cuerpo en la determinación de los tiempos de exposición.

La protección proporcionada por los guantes se evalúa utilizando los métodos descritos en la norma europea EN-511 (1993). El aislamiento térmico de todo el guante se mide con un modelo de mano calentada eléctricamente. Se aplica una velocidad de viento de 4 m/s para simular unas condiciones de uso realistas. En la Tabla 42.27 se indican los resultados para cuatro clases de guantes.

Frío por contacto

El contacto entre la mano desnuda y superficies frías puede reducir rápidamente la temperatura cutánea y causar lesiones por congelación. Pueden existir problemas incluso con superficies a 15 °C. En particular, las superficies metálicas tienen unas excelentes propiedades conductivas y pueden enfriar rápidamente las zonas de la piel que entren en contacto con ellas.

En la actualidad no existe ningún método normalizado para una evaluación general del enfriamiento por contacto, aunque pueden darse las siguientes recomendaciones (ACGIH 1990; Chen, Nilsson y Holmér 1994; Enander 1987):

- El contacto prolongado con superficies metálicas por debajo de 15 °C puede reducir la destreza manual.
- El contacto prolongado con superficies metálicas por debajo de 7 °C puede provocar entumecimiento.
- El contacto prolongado con superficies metálicas por debajo de 0 °C puede provocar congelación.

Tabla 42.30 • Capacidad de enfriamiento del viento en la carne al desnudo expresada como temperatura equivalente de enfriamiento en condiciones de calma casi total (velocidad del viento 1,8 m/s).

Velocidad del viento (m/s)	Lectura real del termómetro (°C)										
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
	Temperatura equivalente de enfriamiento (°C)										
1.8	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
2	-1	-6	-11	-16	-21	-27	-32	-37	-42	-47	-52
3	-4	-10	-15	-21	-27	-32	-38	-44	-49	-55	-60
5	-9	-15	-21	-28	-34	-40	-47	-53	-59	-66	-72
8	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-83
11	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83	-90
15	-18	-26	-34	-42	-49	-57	-65	-73	-80	-88	-96
20	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68	-76	-84	-92	-100

Los valores sombreados representan riesgo de congelación.

- El contacto breve con superficies metálicas por debajo de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede provocar congelación.
- Debe evitarse todo contacto con líquidos cuya temperatura esté por debajo de cero grados.

Otros materiales presentan una secuencia similar de riesgos, aunque las temperaturas necesarias son menores con los materiales menos conductores (plásticos, lana, espuma).

La protección contra el enfriamiento proporcionada por los guantes puede determinarse utilizando la norma europea EN 511. En la Tabla 42.28 se indican los resultados para cuatro clases de guantes.

Enfriamiento convectivo de la piel

El Índice de Enfriamiento por el Viento (*Wind-Chill Index*, WCI) constituye un método sencillo y empírico para evaluar el enfriamiento de la piel no protegida (rostro) (ISO TR 11079). El método predice la pérdida de calor de los tejidos según la temperatura del aire y la velocidad del viento.

En la Tabla 42.29 se indican las respuestas asociadas a diferentes valores de WCI.

Una interpretación frecuentemente utilizada del WCI es la temperatura equivalente de enfriamiento que, en condiciones de calma (1,8 m/s), representa el mismo valor WCI que la combinación real de temperatura y viento. En la Tabla 42.30 se indican las temperaturas equivalentes de enfriamiento para distintas combinaciones de temperatura del aire y velocidad del viento. Los valores corresponden a personas activas y bien vestidas. Puede considerarse que existe riesgo cuando la temperatura equivalente desciende por debajo de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la piel puede congelarse en 1 o 2 minutos por debajo de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Enfriamiento del tracto respiratorio

La inhalación de aire frío y seco puede causar problemas a personas sensibles con temperaturas de incluso $+10$ y $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las personas sanas que realizan un trabajo ligero o moderado no necesitan una protección especial del tracto respiratorio hasta que la temperatura no desciende a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con temperaturas inferiores a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ no deben realizarse esfuerzos muy intensos durante tiempos prolongados de exposición (p. ej., carreras de resistencia en atletismo).

Las mismas recomendaciones se aplican al enfriamiento de los ojos. En la práctica, las intensas molestias y el deterioro visual que produce el enfriamiento de los ojos suele obligar a utilizar gafas protectoras u otro tipo de protección mucho antes de que la exposición se haga peligrosa.

Mediciones

Dependiendo del tipo de riesgo esperado, tendrán que realizarse diferentes series de mediciones (Figura 42.26). Los procedimientos para la recopilación de datos y el grado de precisión de las mediciones dependen de la finalidad de las mismas. Debe obtenerse información pertinente sobre la variación de los parámetros climáticos con el tiempo, así como del nivel de actividad física y/o de la ropa. Para estas mediciones deberán adoptarse procedimientos simples de ponderación en el tiempo (ISO 7726).

Medidas preventivas para reducir el estrés por frío

Las acciones y medidas para controlar y reducir el estrés por frío implican una serie de consideraciones durante las fases de planificación y preparación de los turnos de trabajo, así como durante el trabajo, que se tratan en otras secciones de este capítulo y esta *Enciclopedia*.

Referencias

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 1990. *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1989-1990*. Nueva York: ACGIH.
- . 1992. Cold stress. En *Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment*. Nueva York: ACGIH.
- Bedford, T. 1940. Environmental warmth and its measurement. *Medical Research Memorandum No. 17*. Londres: Her Majesty's Stationery Office.
- Belding, HS, TF Hatch. 1955. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. *Heating Piping Air Condit* 27:129-136.
- Bittel, JHM, C Nonotte-Varly, GH Livecchi-Gonnot, GLM Savourey, AM Hanniquet. 1988. Physical fitness and thermoregulatory reactions in a cold environment in men. *J Appl Physiol* 65:1984-1989.
- Bittel, JHM, GH Livecchi-Gonnot, AM Hanniquet, JL Etienne. 1989. Thermal changes observed before and after J.L. Etienne's journey to the North Pole. *Eur J Appl Physiol* 58:646-651.
- Bittel, JHM. 1987. Heat debt as an index for cold adaptation in men. *J Appl Physiol* 62(4):1627-1634.
- Bligh, J, KG Johnson. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *J Appl Physiol* 35(6):941-961.
- Botsford, JH. 1971. A wet globe thermometer for environmental heat measurement. *Am Ind Hyg J* 32:1-10.
- Boutelier, C. 1979. Survie et protection des équipages en cas d'immersion accidentelle en eau froide. Neuilly-sur-Seine: AGARD A.G. 211.
- Brouha, L. 1960. *Physiology in Industry*. Nueva York: Pergamon Press.
- Burton, AC, OG Edholm. 1955. *Man in a Cold Environment*. Londres: Edward Arnold.
- Chen, F, H Nilsson, RI Holmér. 1994. Cooling responses of finger pad in contact with an aluminum surface. *Am Ind Hyg Assoc J* 55(3):218-22.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). 1992. EN 344. *Protective Clothing Against Cold*. Bruselas: CEN.
- . 1993. EN 511. *Protective Gloves Against Cold*. Bruselas: CEN.
- Daanen, HAM. 1993. Deterioration of manual performance in cold and windy conditions. AGARD, OTAN, CP-540.
- Dasler, AR. 1974. Ventilation and thermal stress, ashore and afloat. En Capítulo 3, *Manual of Naval Preventive Medicine*. Washington, DC: Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery.
- . 1977. Heat stress, work functions and physiological heat exposure limits in man. En *Thermal Analysis—Human Comfort—Indoor Environments*. NBS Special Publication 491. Washington, DC: US Department of Commerce.
- Deutsches Institut für Normierung (DIN) 7943-2. 1992. *Schlafsacke, Thermophysologische Prüfung*. Berlin: DIN.
- Dubois, D, EF Dubois. 1916. Clinical calorimetry X: A formula to estimate the appropriate surface area if height and weight be known. *Arch Int Med* 17:863-871.
- Eagan, CJ. 1963. Introduction and terminology. *Fed Proc* 22:930-933.
- Edwards, JSA, DE Roberts, SH Mutter. 1992. Relations for use in a cold environment. *J Wildlife Med* 3:27-47.
- Enander, A. 1987. Sensory reactions and performance in moderate cold. Tesis doctoral. Solna: Instituto Nacional de Medicina del Trabajo.
- Fuller, FH, L Brouha. 1966. New engineering methods for evaluating the job environment. *ASHRAE J* 8(1):39-52.
- Fuller, FH, PE Smith. 1980. The effectiveness of preventive work procedures in a hot workshop. En FN Dukes-Dobos y A Henschel (dirs.). *Proceedings of a NIOSH Workshop on Recommended Heat Stress Standards*. Washington DC: DHSS (NIOSH) publication No. 81-108.
- . 1981. Evaluation of heat stress in a hot workshop by physiological measurements. *Am Ind Hyg Assoc J* 42:32-37.
- Gagge, AP, AP Fobelets, LG Berglund. 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans* 92:709-731.
- Gisolfi, CV, CB Wenger. 1984. Temperature regulation during exercise: Old concepts, new ideas. *Exercise Sport Sci Rev* 12:339-372.
- Givoni, B, RF Goldman. 1972. Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing. *J Appl Physiol* 2(6):812-822.
- . 1973. Predicting heart rate response to work, environment and clothing. *J Appl Physiol* 34(2):201-204.
- Givoni, B. 1963. A new method for evaluating industrial heat exposure and maximum permissible work load. Artículo presentando en el Congreso Internacional de Biometeorología celebrado en París (Francia) en septiembre de 1963.
- . 1976. *Man, Climate and Architecture*, 2nd ed. Londres: Applied Science.
- Goldman, RF. 1988. Standards for human exposure to heat. En *Environmental Ergonomics*, dirigido por IB Mekjavic, EW Banister y JB Morrison. Londres: Taylor & Francis.
- Hales, JRS, DAB Richards. 1987. *Heat Stress*. Amsterdam, Nueva York: Oxford Excerpta Medica.
- Hammel, HT. 1963. Summary of comparative thermal patterns in man. *Fed Proc* 22:846-847.
- Havenith, G, R Heus, WA Lotens. 1990. Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: Changes due to posture, movement and wind. *Ergonomics* 33:989-1005.
- Hayes. 1988. En *Environmental Ergonomics*, dirigido por IB Mekjavic, EW Banister, JB Morrison. Londres: Taylor & Francis.
- Holmér, I. 1988. Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation—IREQ. *Int J Ind Erg* 3:159-166.
- . 1993. Work in the cold. Review of methods for assessment of cold stress. *Int Arch Occ Env Health* 65:147-155.
- . 1994. Cold stress: Part 1—Guidelines for the practitioner. *Int J Ind Erg* 14:1-10.
- . 1994. Cold stress: Part 2—The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Int J Ind Erg* 14:1-9.
- Houghton, FC, CP Yagoglou. 1923. Determining equal comfort lines. *J ASHVE* 29:165-176.
- Kenneth, W, P Sathasivam, AL Vallerand, TB Graham. 1990. Influence of caffeine on metabolic responses of men at rest in 28 and 5 °C. *J Appl Physiol* 68(5):1889-1895.
- Kenney, WL, SR Fowler. 1988. Methylcholine-activated eccrine sweat gland density and output as a function of age. *J Appl Physiol* 65:1082-1086.
- Kerslake, DMcK. 1972. *The Stress of Hot Environments*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LeBlanc, J. 1975. *Man in the Cold*. Springfield, Illinois, Estados Unidos: Charles C Thomas Publ.
- Leithhead, CA, AR Lind. 1964. *Heat Stress and Head Disorders*. Londres: Cassell.
- Lind, AR. 1957. A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everybody's work. *J Appl Physiol* 18:51-56.
- Lotens, WA, G Havenith. 1991. Calculation of clothing insulation and vapour resistance. *Ergonomics* 34:233-254.
- Lotens, WA. 1989. The actual insulation of multilayer clothing. *Scand J Work Environ Health* 15 Supl. 1:66-75.
- . 1993. Heat transfer from humans wearing clothing. Tesis, Universidad Tecnológica. Delft, Países Bajos. (ISBN 90-6743-231-8).
- Macleay, D, D Emslie-Smith. 1977. *Accidental Hypothermia*. Oxford, Londres, Edimburgo, Melbourne: Blackwell Scientific Publication.
- Macpherson, RK. 1960. Physiological responses to hot environments. *Medical Research Council Special Report Series No. 298*. Londres: HMSO.
- Martineau, L, I Jacob. 1988. Muscle glycogen utilization during shivering thermogenesis in humans. *J Appl Physiol* 56:2046-2050.
- Maughan, RJ. 1991. Fluid and electrolyte loss and re-pletion during exercise. *J Sport Sci* 9:117-142.
- McArdle, B, W Dunham, HE Halling, WSS Ladell, JW Scall, ML Thomson, JS Weiner. 1947. The prediction of the physiological effects of warm and hot environments. *Medical Research Council Rep* 47/397. Londres: RNP.
- McCullough, EA, BW Jones, PEJ Huck. 1985. A comprehensive database for estimating clothing insulation. *ASHRAE Trans* 91:29-47.
- McCullough, EA, BW Jones, T Tamura. 1989. A database for determining the evaporative resistance of clothing. *ASHRAE Trans* 95:316-328.
- McIntyre, DA. 1980. *Indoor Climate*. Londres: Applied Science Publishers Ltd.
- Mekjavic, IB, EW Banister, JB Morrison (dirs.). 1988. *Environmental Ergonomics*. Filadelfia: Taylor & Francis.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1972. Occupational exposure to hot environments. HSM 72-10269. Washington, DC: US Department of Health Education and Welfare.
- . 1986. Occupational exposure to hot environments. NIOSH Publication No. 86-113. Washington, DC: NIOSH.
- Nielsen, B. 1984. Dehydration, rehydration and thermoregulation. En E Jokl y M Hebbelinck (dirs.). *Medicine and Sports Science*. Basilea: S. Karger.
- . 1994. Heat stress and acclimation. *Ergonomics* 37(1):49-58.
- Nielsen, R, BW Olesen, P-O Fanger. 1985. Effect of physical activity and air velocity on the thermal insulation of clothing. *Ergonomics* 28:1617-1632.
- Nishi, Y, AP Gagge. 1977. Effective temperature scale used for hypo- and hyperbaric environments. *Aviation Space and Envir Med* 48:97-107.
- Olesen, BW, E Sliwiska, TL Madsen, P-O Fanger. 1982. Effect of body posture and activity on the thermal insulation of clothing: Measurements by a movable thermal manikin. *ASHRAE Trans* 88:791-805.
- Olesen, BW. 1985. Heat stress. En *Bruel and Kjaer Technical Review No. 2*. Dinamarca: Bruel and Kjaer.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1969. Health factors involved in working under conditions of heat stress. *Technical Report 412*. Ginebra: OMS.
- Pandolf, KB, BS Cadarette, MN Sawka, AJ Young, RP Francesconi, RR Gonzales. 1988. *J Appl Physiol* 65(1):65-71.
- Parsons, KC. 1993. *Human Thermal Environments*. Hampshire, Reino Unido: Taylor & Francis.
- Reed, HL, D Brice, KMM Shakir, KD Burman, MM D'Alesandro, JT O'Brian. 1990. Decreased free

- fraction of thyroid hormones after prolonged Antarctic residence. *J Appl Physiol* 69:1467-1472.
- Rowell, LB. 1983. Cardiovascular aspects of human thermoregulation. *Circ Res* 52:367-379.
- . 1986. *Human Circulation Regulation During Physical Stress*. Oxford: OUP.
- Sato, K, F Sato. 1983. Individual variations in structure and function of human eccrine sweat gland. *Am J Physiol* 245:R203-R208.
- Savourey, G, AL Vallerand, J Bittel. 1992. General and local adaptation after a ski journey in a severe arctic environment. *Eur J Appl Physiol* 64:99-105.
- Savourey, G, B Barnavol, JP Caravel, C Feuerstein, J Bittel. 1996. Hypothermic general cold adaptation induced by local cold acclimation. *Eur J Appl Physiol* 73:237-244.
- Savourey, G, JP Caravel, B Barnavol, J Bittel. 1994. Thyroid hormone changes in a cold air environment after local cold acclimation. *J Appl Physiol* 76(5):1963-1967.
- Vallerand, AL, I Jacob, MF Kavanagh. 1989. Mechanism of enhanced cold tolerance by an ephedrine/caffeine mixture in humans. *J Appl Physiol* 67:438-444.
- Van Dilla, MA, R Day, PA Siple. 1949. Special problems of the hands. En *Physiology of Heat Regulation*, dirigido por R Newburgh. Filadelfia: Saunders.
- Vellar, OD. 1969. *Nutrient Losses through Sweating*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Vogt, JJ, V Candas, JP Libert, F Daull. 1981. Required sweat rate as an index of thermal strain in industry. En *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, dirigido por K Cena y JA Clark. Amsterdam: Elsevier. 99-110.
- Wang, LCH, SFP Man, AN Bel Castro. 1987. Metabolic and hormonal responses in theophylline-increased cold resistance in males. *J Appl Physiol* 63:589-596.
- Wissler, EH. 1988. A review of human thermal models. En *Environmental Ergonomics*, dirigido por IB Mekjavic, EW Banister y JB Morrison. Londres: Taylor & Francis.
- Woodcock, AH. 1962. Moisture transfer in textile systems. Part I. *Textile Res J* 32:628-633.
- Yaglou, CP, D Minard. 1957. Control of heat casualties at military training centers. *Am Med Assoc Arch Ind Health* 16:302-316 y 405.
- Comisión Europea (CE). 1988. Actas del seminario sobre índices de estrés por calor. Luxemburgo: CE, Dirección de Salud y Seguridad.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). 1985. ISO 7726. *Thermal Environments—Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities*. Ginebra: ISO.
- . 1989a. ISO 7243. *Hot Environments—Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT Index (Wet Bulb Globe Temperature)*. Ginebra: ISO.
- . 1989b. ISO 7933. *Hot Environments—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Stress using Calculation of Required Sweat Rate*. Ginebra: ISO.
- . 1989c. ISO DIS 9886. *Ergonomics—Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements*. Ginebra: ISO.
- . 1990. ISO 8996. *Ergonomics—Determination of Metabolic Heat Production*. Ginebra: ISO.
- . 1992. ISO 9886. *Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements*. Ginebra: ISO.
- . 1993. *Assessment of the Influence of the Thermal Environment using Subjective Judgement Scales*. Ginebra: ISO.
- . 1993. ISO CD 12894. *Ergonomics of the Thermal Environment—Medical Supervision of Individuals Exposed to Hot or Cold Environments*. Ginebra: ISO.
- . 1993. ISO TR 11079 *Evaluation of Cold Environments—Determination of Required Clothing Insulation, IREQ*. Ginebra: ISO. (Technical Report)
- . 1994. ISO 9920. *Ergonomics—Estimation of the Thermal Characteristics of a Clothing Ensemble*. Ginebra: ISO.
- . 1994. ISO 7730. *Moderate Thermal Environments—Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. Ginebra: ISO.
- . 1995. ISO DIS 11933. *Ergonomics of the Thermal Environment. Principles and Application of International Standards*. Ginebra: ISO.
- Otras lecturas recomendadas**
- Alm, NO. 1992. Strategies for accident prevention in circumpolar regions. *Arctic Med Res* 50 Supl. 7:99-101.
- Anon. 1993. The support of air operations under extreme hot and cold weather conditions. Neuilly-sur-Seine, Francia: AGARD/OTAN, C10-304.
- Bennett, PB, DH Elliot. 1991. *The Physiology and Medicine of Diving*. Londres: Bailliere Tindall.
- Burton, AC, OG Edholm. 1969. *Man in a Cold Environment*. Nueva York: Hafner Publishing Company, Inc.
- Clark, RP, OG Edholm. 1985. *Man and his Thermal Environment*. Londres: Edward Arnold.
- Eiken, O, P Kaiser, I Holmér, R Baer. 1989. Physiological effects of a mouth-borne heat exchanger during heavy exercise in a cold environment. *Ergonomics* 32(6):645-653.
- Enander, AE. 1990. Working performance in the cold. *Proceedings of Working and Survival in the Cold*. Trondheim, Noruega: Sintef Unimed, 69-92.
- . 1987. Effects of moderate cold on performance of psychomotor and cognitive tasks. *Ergonomics* 30(10):1431-1445.
- Fanger, P-O. 1970. *Thermal Comfort*. Nueva York: McGraw-Hill Book Co.
- Francis, TJR. 1985. Non-freezing cold injuries—The pathogenesis. *J Royal Navies Med Serv* 71:3-8.
- Frimodt-Muller, B, H Bay-Nielsen. 1992. Classification of accidents in the Arctic. *Arctic Med Res* 51 Supl. 7:15-21.
- Granberg, P-O, J Hassi, I Holmér, T Larsen, H Refsum, K Yttrehus, M Knip. 1991. Cold physiology and cold injuries. *Arctic Med Res* 50: Supl. 6.
- Granberg, PO. 1995. Human endocrine responses to the cold. *Arctic Med Res* 54:91-103.
- Hamlet, MP. 1988. Human cold injuries. En *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, dirigido por KB Pandolf, MN Sawka y RR Gonzalez (dirs.). Alexandria, Virginia: Army Research Institute of Environmental Medicine. 435-466.
- Holmér, I (dir.). 1994. *Work in Cold Environments*. Solna, Suecia: Instituto Nacional de Medicina del Trabajo.
- Ingall, TJ. 1993. Hyperthermia and hypothermia. En *Clinical Autonomic Disorders*, dirigido por PA Low. Boston: Little Brown and Company.
- Khogali, M, JRS Hales. 1983. *Heat Stroke and Temperature Regulation*. Sidney: Academic Press.
- Leppäluoto, J (dir.). 1995. Effects of cold on the human organism. *Arctic Med Res* 54: Supl. 2.
- Litchfield, P. Manual performance in the cold: A review of some of the critical factors. *J Roy Nav Med Serv* 73:173-177.
- Lloyd, EL. 1986. *Hypothermia and Cold Stress*. Londres y Sidney: Croom Helm.
- Mekjavic, I, J Bligh. 1987. The pathophysiology of hypothermia. En *International Reviews of Ergonomics*, dirigido por DJ Osborne. Nueva York: Taylor & Francis. 201-218.
- Middaugh, J. 1992. Epidemiology of injuries in northern areas. *Arctic Med Res* 51:5-14.
- Mills, WJ. 1991. Cold injury. *Alaska Med* 35:1.
- Morton, WE, JWS Hearle. 1975. *Physical Properties of Textile Fibres*. Londres: Heinemann.
- Newburgh, LH (dir.). 1949. *Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing*. Nueva York: Hafner Publishing Co.
- Nishi, Y, AP Gagge. 1970. Moisture permeation of clothing—A factor governing thermal equilibrium and comfort. *ASHRAE Trans* 76(1):137-145.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). 1984. *Thermal Environments—Specifications Relating to Appliances and Methods for Measuring Physical Characteristics of the Environment*. Ginebra: ISO.
- Pandolf, KB, MN Sawka, RR Gonzales. 1988. *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Indianapolis: Benchmark Press.
- Parsons, KC, JG Fox, B Metz. 1995. Heat stress indices (número especial). *Ergonomics* Vol. 38, No. 1, enero 1995.
- Savourey, G, B Barnavol, JP Caravel, G Barbe, J Bittel. 1993. Induction d'un syndrome polaire de la "tri-iodothyronine" en laboratoire chez l'homme. *CR Acad Sci Paris* 607-610.
- Shitzer, A, A Stroschein, WE Santee, RR Gonzales, KB Pandolf. 1991. Quantification of conservative endurance times in thermally insulated cold-stressed digits. *J Appl Physiol* 71(6):2528-2535.
- Toner, MM, WD McArdle. 1988. Physiological adjustments of man to the cold. En *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, dirigido por KB Pandolf, MN Sawka y RR Gonzalez. Alexandria, Virginia: US Army Research Institute of Environmental Medicine.
- Whelan, ME, LE MacHattie, AC Goodings, LH Turl. 1955. The diffusion of water vapour through luminae with particular reference to textile fabrics. *Textile Res J* 25(3):197-223.
- Young, AJ. 1988. Human adaptation to cold. En *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, dirigido por KB Pandolf, MN Sawka y RR Gonzalez (dirs.). Alexandria, Virginia: US Army Research Institute of Environmental Medicine.

